



# Quelques problèmes de gestion de l'université et application

Georges Vayatis

## ► To cite this version:

Georges Vayatis. Quelques problèmes de gestion de l'université et application. Modélisation et simulation. Université Claude Bernard - Lyon I, 1979. Français. NNT : . tel-00849922

**HAL Id: tel-00849922**

**<https://theses.hal.science/tel-00849922>**

Submitted on 1 Aug 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# THESE

*présentée devant*

L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD

*pour obtenir*

LE DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE

SPECIALITE : Informatique et Automatique appliquées  
aux systèmes industriels et de gestion

*par*

Georges VAYATIS

-----

QUELQUES PROBLEMES DE GESTION  
DE L'UNIVERSITE ET APPLICATION

-----

*soutenue le 30 octobre 1979 devant la Commission d'Examen*

Monsieur A. DUSSAUCHOY *Président*

Messieurs	A. COINDE	}	<i>Examineurs</i>
	J. FAVREL		
	C. FORESTIER		
	R. ROUQUAIROL		



16913

EG 847

N° d'ordre : 928

Année 1979

# THESE

*présentée devant*



L'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD

*pour obtenir*

LE DOCTORAT DE TROISIEME CYCLE

SPECIALITE : Informatique et Automatique appliquées  
aux systèmes industriels et de gestion

*par*

Georges VAYATIS

-----

QUELQUES PROBLEMES DE GESTION  
DE L'UNIVERSITE ET APPLICATION

-----

soutenue le 30 octobre 1979 devant la Commission d'Examen

Monsieur A. DUSSAUCHOY

Président

Messieurs A. COINDE

J. FAVREL

C. FORESTIER

R. ROUQUAIROL

} Examineurs



3 4200 01244111 5



UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président honoraire : M. le Pr J. BOIDIN

Président : M. le Pr. D. GERMAIN

Premier Vice-Président : M. le Pr E. ELBAZ

Deuxième Vice-Président : M. ROUSSET, Attaché de Recherche

Troisième Vice-Président : M. BRULA, Etudiant

Secrétaire Général de l'Université : M. J. RAMBAUD, Administrateur Civil.

UNITES D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE (U.E.R.)

U.E.R. de Médecine GRANGE-BLANCHE ..... : Monsieur Bernard SALLE, M.C.A.  
U.E.R. de Médecine ALEXIS-CARREL ..... : Monsieur le Pr René MORNE  
U.E.R. de Médecine LYON-NORD ..... : Monsieur J.P. NEIDHART, M.C.A.  
U.E.R. de Médecine SUD-OUEST ..... : Monsieur le Pr Jean NORMAND  
U.E.R. de Sciences Pharmaceutiques ..... : Monsieur le Pr C.A. BISOLLON  
U.E.R. de Techniques de Réadaptation ..... : Monsieur Alain MORGON, M.C.A.  
U.E.R. de Biologie Humaine ..... : Monsieur Jean-Pierre REVILLARD, M.C.A.  
U.E.R. I.R.E.P.S. .... : Monsieur Albert MILLON, Professeur  
d'E.P.S.  
U.E.R. de Sciences Odontologiques ..... : Monsieur le Dr Roger VINCENT  
U.E.R. de Mathématiques ..... : Monsieur le Dr Philippe PICARD  
U.E.R. de Physique ..... : Monsieur le Pr Jean DELMAU  
U.E.R. de Chimie et Biochimie ..... : Monsieur le Pr Jean HUET  
U.E.R. des Sciences de la Nature ..... : Monsieur le Pr René GINET  
U.E.R. de Sciences Physiologiques ..... : Mademoiselle le Pr J.F. WORBE  
U.E.R. de Physique Nucléaire ..... : Monsieur le Pr Mark GUSAKOW  
I.U.T. I ..... : Monsieur le Pr Albert VILLE  
I.U.T. II ..... : Monsieur J. GALLET, Directeur E.N.S.A.M.  
  
Observatoire de Lyon ..... : Monsieur Guy MONNET, Astronome Adjoint  
  
U.E.R. de Mécanique ..... : Mademoiselle le Pr Geneviève  
COMTE-BELLOT

=====



*J'adresse tout d'abord l'expression de ma plus sincère reconnaissance à Monsieur le Professeur A. DUSSAUCHOY pour l'intérêt qu'il a bien voulu manifester tout au long de mon travail et l'honneur qu'il me fait de présider ce jury.*

*Je remercie chaleureusement mon collègue A. COINDE, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, pour les conseils judicieux qu'il m'a prodigués et l'aide précieuse qu'il m'a apportée de façon permanente.*

*Mes remerciements vont à Monsieur le Professeur J. FAVREL pour l'honneur qu'il me fait de participer à ce jury et les critiques constructives qu'il a formulées sur mon travail.*

*Mes remerciements vont également à Monsieur C. FORESTIER, Président de l'Université de Saint-Etienne, et à Monsieur R. ROUQUAIROL, Secrétaire Général de l'Université de Saint-Etienne, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux, la faculté qu'ils m'ont accordée d'accéder à certains documents et l'honneur qu'ils me font de participer à ce jury.*

*Je remercie Monsieur G. ARNOUIL, Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, pour les facilités qu'il a bien voulu m'accorder afin de me permettre de mener à bien mes travaux.*

*Je remercie Messieurs J.L. RASCLE, U. SAKELLARIDIS pour leur collaboration particulièrement efficace.*

*Je remercie Mesdames L. BROUILLET, M.C. DELABRE et C. GUYONDET qui ont dactylographié, dans des conditions souvent acrobatiques le présent document.*

*Ce travail n'aurait pu être réalisé sans la collaboration technique de Messieurs R. BROSSARD, G. CHEMEL, L. DARLE, A. LOUBET et F. VELAY : qu'ils en soient ici également remerciés.*

*J'adresse enfin mes remerciements à toutes les autres personnes qui ont bien voulu m'apporter aide, assistance, conseils et critiques tout au long de mon travail.*





A mes parents,



## INTRODUCTION

### 1ÈRE PARTIE

#### CHAPITRE 1 : RECHERCHES SUR LA GESTION DES UNIVERSITES AU NIVEAU INTERNATIONAL.

- 1.1. Présentation du chapitre
- 1.2. Budgets et finances
- 1.3. Etudiants
- 1.4. Enseignement
- 1.5. Recherche
- 1.6. Systèmes d'information intégrés
- 1.7. Modèles mathématiques : planification - simulation
- 1.8. Conclusion

#### CHAPITRE 2 : BILAN CRITIQUE DES MODELES.

- 2.1. Modèles mathématiques
- 2.2. Systèmes d'information intégrés
- 2.3. Problèmes de concepts et de terminologie
- 2.4. Conclusion

#### CHAPITRE 3 : THEORIE DES SYSTEMES.

- 3.1. Le processus de modélisation
- 3.2. Définitions de la notion du système
  - 3.2.1. Définition cybernétique - Information
  - 3.2.2. Définitions mathématiques et physiques des systèmes
  - 3.2.3. Définition biologique
  - 3.2.4. Conclusion



## 2E PARTIE

### CHAPITRE 4 : UN MODELE DE PREVISION

- 4.1. A la recherche d'une méthode de Prévision
- 4.2. Le filtre de Kalman
- 4.3. Un modèle stochastique
- 4.4. Présentation du modèle proposé
- 4.5. Exemples d'application
- 4.6. Annexe : Description de l'algorithme

### CHAPITRE 5 : MODELES DE SIMULATION

- 5.1. Objectif du modèle présenté
- 5.2. Le modèle de simulation
- 5.3. Le cadre Markovien
- 5.4. Modèle Markovien sans boucles
  - 5.4.1. Résumé du modèle
- 5.5. Modèle du type "Dynamique des Systèmes"
  - 5.5.1. Description du modèle
- 5.6. Evaluation des demandes d'enseignement
- 5.7. Evaluation de la capacité d'enseignement
- 5.8. Evaluation du budget

### CHAPITRE 6 : MODELE DE PLANIFICATION

- 6.1. Objectif du modèle
- 6.2. La structure d'un système décentralisé
- 6.3. Niveaux - Hiérarchies
  - 6.3.1. Relations à un même niveau
    - 6.3.1.1. Plusieurs unités décisionnelles
      - a) Point de Nash
      - b) Point de Pareto
  - 6.3.2. Relations entre niveaux
  - 6.3.3. Centralisation - Décentralisation
  - 6.3.4. Décentralisation avec un contrôle central
  - 6.3.5. Les choix possibles de modèles de décentralisation



- 6.3.6. Déroulement dans le temps du processus de décision
- 6.3.7. Choix retenu : Décentralisation par allocation des ressources
- 6.3.7.1. La présentation du modèle
- 6.3.8. Le niveau d'exécution du modèle
- 6.3.9. Les équations du modèle - forme générale
- 6.3.10. Utilisation du modèle

### 3E PARTIE

## CHAPITRE 7 : APPLICATION DES MODELES PRESENTES A UNE UNIVERSITE

### CONCLUSION

### BIBLIOGRAPHIE





# INTRODUCTION



Les Universités occupent une place essentielle dans les sociétés d'aujourd'hui. Elles affrontent et affronteront des problèmes fort complexes auxquels elles se doivent de faire face :

*sur le plan de leurs finalités  
de leur organisation  
et des moyens mis à leur disposition.*

Les problèmes et les possibilités d'action avec lesquels doivent compter les Universités, constituent la toile de fond de toute discussion des possibilités de maîtrise de leur fonctionnement.

Ici, on utilise le mot "maîtrise" au sens qui lui a été donné par Bernard ROY :

La maîtrise est la fonction exercée de façon volontariste et raisonnée en relation avec certaines finalités pour orienter une évolution ; maîtriser peut être selon le cas, signifier, prévoir, anticiper, projeter, automatiser, informatiser, entretenir, surveiller, diriger, optimiser.

Ces difficultés incitent à se poser une question clé : Peut-on améliorer la gestion de l'Université pour mieux l'adapter aux conditions historiques présentes ?

On va préciser le champ de la gestion universitaire, autour de quatre problèmes fondamentaux, qui sont d'ailleurs liés entre eux, et cette interaction ajoute à la complexité de la situation à laquelle les Universités sont confrontées.

#### Problème du rôle de l'Université :

Le rôle de la plupart des Universités s'est transformé progressivement au cours des dernières années, principalement sous l'action de stimulants externes et par voie de changements discontinus. Les responsables de l'Université doivent de plus en plus considérer celle-ci non

pas comme une entité isolée, mais comme un élément de l'enseignement supérieur. Ceci signifie, par exemple, que l'Université doit réunir des informations sur les objectifs et les tendances du système national et doit utiliser ces informations d'une façon systématique pour la préparation de ses propres décisions.

Problème des effectifs :

Si la question fondamentale à laquelle se trouvent confrontées les Universités est celle du rôle, c'est leur expansion qui a projeté cette question au premier plan et qui a donné une nouvelle orientation aux relations internes et externes des Universités.

Problème de l'organisation des relations internes et de ses relations avec l'environnement :

Sur le plan interne, le degré de "différenciation" ou d'"intégration" des unités qu'elle comporte entre elles, et les moyens propres à assurer une coordination optimale au niveau de l'ensemble, constituent un premier aspect important.

Le second a trait aux modes de résolution des conflits et aux difficultés de coordination qui surviennent quand il faut prendre des décisions de synthèse alors que les dirigeants des départements concernés ont des systèmes de référence différents.

Sur le plan externe, ses structures organisationnelles et les procédures utilisées doivent être congruentes avec les contraintes de l'environnement.

Un quatrième problème toujours présent est celui du financement et de l'allocation des ressources. Ceci devient encore plus aigu dans les périodes de stagnation ou de croissance faible, dans la mesure où les contraintes externes sont transformées en des tensions internes.

L'Université est à la fois une organisation et une communauté. Les problèmes sociologiques, les droits individuels, la nature de l'emploi et des tâches, la qualité de l'enseignement et de la recherche, etc...

fixent des limites à l'action collective, qui doivent être admises par la gestion. Ce sont des facteurs qu'on n'a pas pu quantifier d'une façon satisfaisante jusqu'aujourd'hui.

Mais le fait que la construction de modèles quantitatifs à l'échelle de l'Université ne constitue pas un dispositif susceptible d'un emploi étendu pour la planification et la gestion, n'invalide pas la justesse de l'approche de la gestion des Universités par le biais de la construction des modèles, plus particulièrement en ce qui concerne l'application des techniques quantitatives et des secteurs limités de l'activité universitaire.

Nous pensons qu'en long terme, les modèles mathématiques sont appelés à devenir des instruments à la fois essentiels et d'emploi courant pour étayer les jugements de valeur portés sur la gestion des Universités.

Un des avantages essentiels de cette approche est qu'elle impose une plus grande précision dans la manière d'explicitier les objectifs, les hypothèses et les relations entre les activités et les variables ; c'est-à-dire elle demande aux responsables qu'ils précisent et vérifient les modèles intuitifs et mentaux qu'ils utilisent constamment comme structure d'élaboration des décisions.

L'objectif principal, dans les pages qui suivent, est de développer quelques techniques quantitatives, et montrer comment ces techniques peuvent être appliquées d'une manière profitable au domaine universitaire.

Plus concrètement, le travail présenté se compose d'une série d'études :

## PREMIERE PARTIE

### Chapitre 1 :

Nous présentons un aperçu des préoccupations, des responsables des universités au niveau international.

### Chapitre 2 :

Nous essayons de faire un bilan critique des méthodes de modélisation employées, et des difficultés rencontrées.

### Chapitre 3 :

Le passage d'un système universitaire à un autre est impossible si sa réalité du moment n'est pas analysée et fouillée en elle-même. Or l'examen de la situation actuelle nécessite une méthodologie de description, d'un langage, permettant de cerner et formuler les problèmes. Ainsi dans ce chapitre, on présente un certain nombre de concepts et de notions de la théorie des systèmes qui nous ont paru appropriés pour l'étude du contexte universitaire, et qu' l'on va utiliser dans la suite.

## DEUXIEME PARTIE

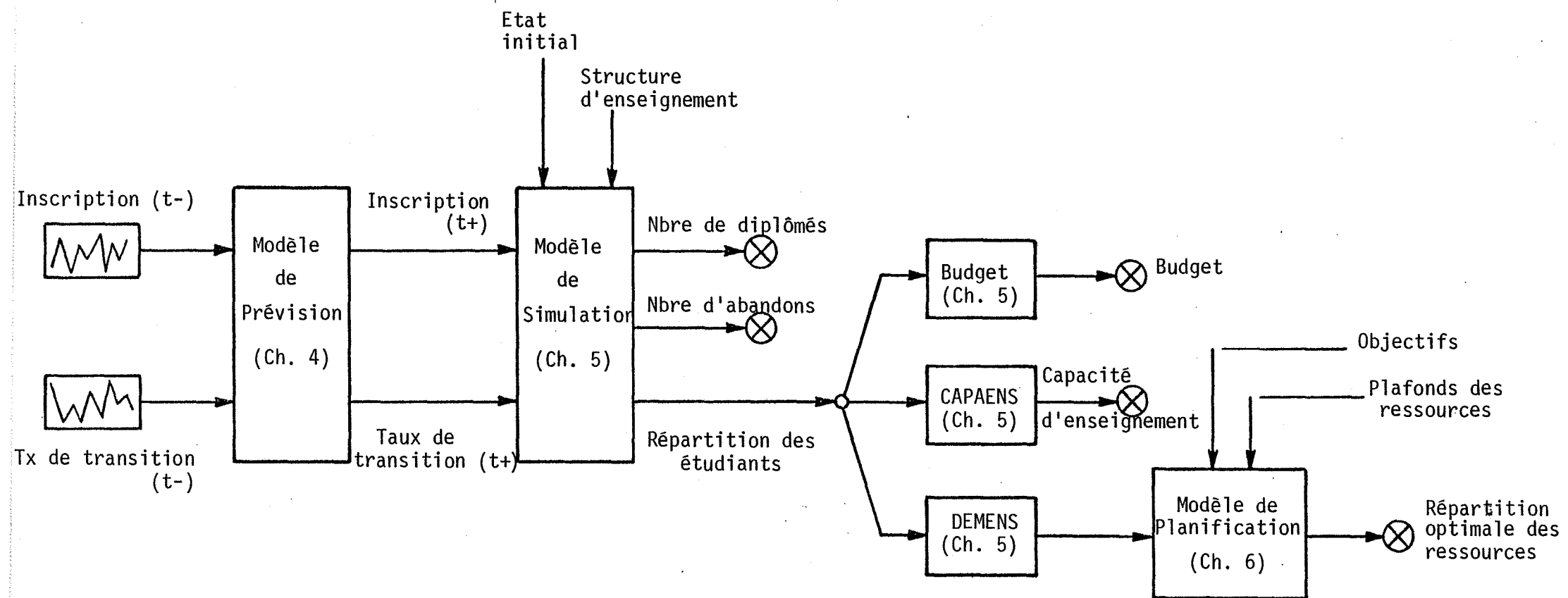
Dans cette partie, on développe une série de modèles qui sont articulés comme il est indiqué au schéma (1).

### Chapitre 4 :

Un point important pour la gestion d'une université est l'estimation des besoins en ressources et l'allocation de ces ressources pour satisfaire le fonctionnement.

Pour l'estimation des besoins, le facteur le plus important est le nombre d'étudiants inscrits chaque année et leur répartition entre les U.E.R. et les différents niveaux d'études. Tous les autres paramètres, comme le nombre des enseignants, le nombre d'heures d'enseignement, les locaux... dépendent directement ou indirectement de l'évolution de l'effectif étudiant.

Comme le système éducatif est influencé par des facteurs sociaux, économiques, administratifs de nature non déterministe, on propose une méthode de prévision, fondée sur le principe du filtre de Kalman.





Cette méthode est utilisée pour :

- la prévision de nouveaux inscrits pour chaque année académique,
- la prévision des taux de transition d'un niveau d'études à un autre.

Les prévisions obtenues vont constituer des "input" pour les modèles proposés dans la suite.

#### Chapitre 5 :

Dans ce chapitre, on présente une série de modèles de simulation de type prévisionnel, c'est-à-dire des modèles à l'aide desquels on peut "voir" les conséquences de diverses sortes d'action. Les résultats obtenus sont utilisés pour la planification et la formulation des objectifs à long terme.

- Ainsi, à partir du nombre d'étudiants inscrits à l'Université, et les taux de transition, on peut évaluer le "flux étudiant" à travers les U.E.R., le nombre des diplômés et le nombre des abandons. Les modèles présentés sont du type Dynamique des Systèmes, et du type Markovien.

- Ensuite on évalue les demandes d'enseignement, en tenant compte des programmes offerts, la taille des classes, et l'effectif étudiant.

- Un autre modèle évalue la capacité d'enseignement de chaque U.E.R., en nombre d'heures par semaine.

- Et enfin, un dernier modèle calcule le budget (coût moyen) à partir du nombre des postes enseignants.

#### Chapitre 6 :

Ici, après avoir précisé un certain nombre des caractéristiques de l'Université, on propose un modèle de planification décentralisée, qui peut être utilisée comme un instrument analytique pour la répartition des ressources disponibles. Et on indique la manière avec laquelle les résultats obtenus peuvent être utilisés pour les négociations entre les U.E.R. d'une université d'une part, et d'autre part pour celles que l'université mène avec le Ministère. Ce modèle est fondé sur les idées développées par deux auteurs hongrois : Kornai et Liptak.

### TROISIEME PARTIE

#### Chapitre 7 :

Dans ce dernier chapitre, on applique les modèles proposés à l'Université de Saint-Etienne.

Avant de finir cette présentation, précisons que des modèles proposés sont compatibles entre eux, et qu'ils sont présentés sous forme conversationnelle, sauf le dernier qui concerne la planification décentralisée.



## 1ÈRE PARTIE



## CHAPITRE 1

RECHERCHES SUR LA GESTION DES UNIVERSITES  
AU NIVEAU INTERNATIONAL



1.1. Les problèmes et les difficultés auxquels se heurtent les universités dans tous les pays du monde, ont conduit des organismes internationaux, UNESCO, OCDE à créer des groupes de discussion et de réflexion sur la gestion des établissements de l'enseignement supérieur, et l'éducation en général.

Pour notre part nous avons particulièrement suivi le développement d'un groupe de recherche de l'OCDE, qui, au sein du CERI (Centre pour la recherche et l'innovation de l'enseignement) a créé une structure de recherche : le programme IMHE, (Investigation for Management on Higher Education), financé sur la base des cotisations des adhérents et par des fonds provenant de la fondation Ford.

Le programme IMHE a au premier abord deux objectifs fondamentaux :

- *"de susciter la création au sein des universités ou autres établissements d'enseignement post-secondaire membres de ce programme, de moyens leur permettant de mieux gérer leurs propres activités, et ce par le canal d'une coopération inter-institutionnelle".*
- *"de promouvoir une plus large diffusion des méthodes et des techniques opératoires en matière de gestion au moyen d'échanges systématiques d'information et de personnel spécialisé".*

Dès son départ, le programme du CERI s'est orienté vers les problèmes dus au fait que les universités étaient souvent mal préparées à organiser et à gérer les ressources mises à leur disposition. Au cours de cette phase préparatoire 1971-1972, des efforts ont été faits en vue de démontrer comment ces établissements



pouvaient apprendre à mieux gérer leurs ressources en améliorant les processus de prise de décision, notamment en matière d'information, de financement, de flux des effectifs, d'utilisation des bâtiments et d'organisation des études (1).

Voici un tableau qui indique les priorités de recherche établies par les établissements membres qui ont adhéré au programme avant le milieu de 1973. (2) Il faut signaler que ces "priorités" ont été établies principalement par des administrateurs des Universités. (Voir Tableau 1).

La méthode suivante a été adoptée pour le classement : les domaines qui sont classés au premier, deuxième ou troisième rang des priorités correspondent aux colonnes 1, 2, 3. Les domaines qui ont simplement été mentionnés sont présentés séparément (colonne 4). Le nombre total de réponses classées parmi les trois premières priorités est donné dans la colonne suivante (colonne 5) et ce total, ainsi que le nombre de fois où un domaine a été simplement noté, sont consignés dans la dernière colonne (colonne 6). Cette classification a été établie à partir des réponses fournies par 61 établissements.

Le tableau 2 représente le classement des priorités, d'après les réponses de onze établissements qui ont adhéré au milieu de l'année 1973. (Voir Tableau 2).

Un comité spécial s'est réuni au cours de la Première Conférence Générale tenue en janvier 1973 pour formuler un ensemble de recommandations concernant les thèmes de recherche à aborder en priorité au cours des deux années suivantes. Ce classement est donné au tableau 3. (Voir Tableau 3).

---

(1) O C D E : La gestion des établissements d'enseignement supérieur - mars 1973.

(2) Phase 2, bulletin n° 10, janvier 1975.

Classement préférentiel des domaines d'étude	1	2	3	4	5	6
	1er	2e	3e	*	Total 1,2,3	Total 5 + 4
1. Evaluation des dépenses des services communs	3	2	1	6	6	12
2. Analyse de coûts et contrôle budgétaire	15	4	4	14	23	37
3. Utilisation des infrastructures, des équipements et autres matériels	3	3	5	10	11	21
4. Contraintes imposées par la disponibilité en bâtiments et équipements physiques	2	2	5	11	9	20
5. Analyse des flux d'étudiants	4	3	2	12	9	21
6. Coût et efficacité associés à divers matériels audio-visuels	1	3	4	6	8	14
7. Efficacité des différentes structures de l'organisation et des procédures de prises de décisions	6	11	5	15	22	37
8. Dictionnaire d'informations et manuels de collecte de données	1	4	2	7	7	14
9. Séminaires pilotes de formation professionnelle	4	3	4	4	11	15
10. Financement de la recherche universitaire	6	4	5	5	15	20
11. Orientation professionnelle et emplois offerts aux étudiants	4	3	5	6	12	18

<i>Classement préférentiel des domaines d'études</i>	1	2	3	Total
1. Moyens et méthodes d'évaluation des résultats obtenus par les établissements	2	1	4	7
2. Recrutement, rémunération, conditions de travail et occasions de formation offertes au personnel administratif	-	1	1	2
3. Evolution des attitudes à l'égard de la gestion des établissements d'enseignement supérieur	-	1	1	2
4. Conséquences découlant de la taille croissante des établissements et de leur évolution progressive à long terme	1	3	-	4
5. Mise au point d'un ensemble "d'indicateurs critiques"	5	1	-	6
6. Constitution de données statistiques et d'autres informations comparables relatives à l'affectation et à la gestion des ressources	4	3	-	7
7. Initiative de l'innovation en matière de gestion des établissements d'enseignement théorique	-	-	1	1

Niveau de priorité	Thème de recherche
Elevé	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Constitution de données statistiques</li> <li>. Mise au point d'un ensemble "d'indicateurs critiques"</li> </ul>
Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Moyens et méthodes d'évaluation des résultats obtenus par les établissements</li> <li>. Conséquence découlant de la taille croissante des établissements et de leur évolution progressive à long terme</li> </ul>
Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Recrutement, rémunération, conditions du travail et occasions de formation offertes au personnel administratif</li> <li>. Evolution des attitudes à l'égard de la gestion des établissements d'enseignement supérieur</li> <li>. Initiative de l'innovation en matière de gestion des établissements d'enseignement supérieur</li> </ul>

A la suite de cette conférence, plusieurs groupes de recherche ont été constitués, et aujourd'hui on dispose d'une imposante bibliographie concernant pratiquement tous les domaines d'activité de la gestion des universités.

Il nous semble opportun de présenter ici un aperçu de certains problèmes étudiés, présentés à l'OCDE.

### 1.2. Budgets et finances

La recherche s'est orientée dans deux directions différentes. En premier lieu, les établissements ont cherché à définir, à mesurer et à imputer les coûts conformément aux méthodes comptables, et aux processus d'affectation des fonds, avec ou sans optimisation budgétaire. Ils ont été intéressés également au problème de l'affectation des ressources et à ses rapports avec l'utilisation des critères de performance.

La deuxième orientation de la recherche concerne l'intégration des processus de budgétisation et de planification, qu'il s'agisse de l'introduction des budgets de programmes ou de l'élaboration des planifications d'ensemble.

Dans ce domaine, les recherches en cours font généralement appel aux techniques et aux technologies nouvelles. C'est ainsi que les études et projets de recherche cités dans cette catégorie comprennent :

- la gestion informatisée, sous forme du télétraitement, de l'information budgétaire,
- la création d'un système de coordination de toute l'information budgétaire appliquant des concepts de budgétisation multidimensionnelle,
- l'organisation d'un double système de comptabilité qui comprend à la fois les concepts des "centres de coût" et les concepts comptables traditionnels.

### 1.3. Etudiants

Si l'étude des problèmes qui intéressent particulièrement les étudiants (en laissant de côté pour le moment les aspects qui sont incorporés à des catégories telles que l'enseignement et les services) ne semble pas bénéficier d'un rang de priorité élevé, on a des études qui traitent de l'analyse des flux d'étudiants, en vu

de prévoir l'effectif des personnels enseignant et scientifique, la mesure du temps d'étude de différentes catégories d'étudiants ; la formulation d'une typologie des étudiants pour dégager des profils-type...

Dans une autre direction, on a la mise en place de systèmes de gestion informatisée des fichiers-étudiants. Ces systèmes ouvrent à la fois les inscriptions et la progression des étudiants à l'intérieur de l'établissement. Parmi les types d'information que les établissements voudraient obtenir, les plus fréquemment cités sont :

- les disciplines choisies,
- les examens passés,
- les notes reçues,
- les diplômes délivrés.

Ces systèmes ont l'ambition de présenter l'information de façon à :

- permettre l'évaluation des programmes d'études,
- être facilement utilisable par l'administration de l'université, pour la mise au point des horaires, l'affectation des locaux et diverses activités de planification et de programmation,
- pouvoir servir aux recherches pédagogiques, par exemple, pour l'analyse du taux d'échec aux examens et de ses causes, afin d'en modifier et d'en améliorer les modalités.

#### 1.4. Enseignement

Ce thème est l'une des principales préoccupations des établissements. Les études sont à la fois nombreuses et de grande envergure. L'un des plus importants problèmes étudiés consiste à évaluer l'enseignement, objectifs des cours, efficacité pédagogique. Cette préoccupation se rapproche d'une façon générale des méthodes servant à évaluer les "produits" des programmes, à l'aide des critères de performance, dont nous avons déjà parlé dans le paragraphe ci-dessus sur le budget et les finances. Les programmes sont souvent si nombreux et l'on demande sans cesse qu'il en soit créé de nouveaux. Si l'on tient compte des contraintes budgétaires, il s'ensuit souvent que des programmes entiers doivent être supprimés. D'où le besoin de tenter de mettre au point des critères, des instruments et des méthodes statistiques qui permettent de prendre des décisions concernant les programmes d'étude.

### 1.5. Recherche

Dans certains cas, les établissements ne cherchent qu'à établir un catalogue (ou un inventaire) des projets de recherche entrepris au sein de l'établissement. Dans d'autres, ils s'efforcent en même temps de tenir compte des données budgétaires, afin de connaître rapidement les coûts financiers et les coûts en homme-heure pour différents types de personnels. Cette deuxième méthode est celle qui vise à développer des critères et des méthodes destinés à la sélection, à l'évaluation et au contrôle des projets de recherche, tandis que d'autres études concernent des problèmes spécifiques relatifs à la recherche dans le contexte de l'interdisciplinarité et de la pluridisciplinarité.

### 1.6. Systèmes d'information intégrés

Des établissements consacrent une partie importante de leurs recherches à ce domaine. Dans certains cas, des systèmes d'information intégrés sont élaborés au niveau national à partir d'une sélection de données provenant d'établissements individuels. Dans d'autres cas, les établissements individuels tentent de mettre au point des systèmes intégrés destinés à leur propre gestion. Dans ce dernier cas, les systèmes d'information traitent soit de l'intégration des fichiers de données existants (par exemple, fichiers-étudiants, enseignants, les équipements disponibles, les programmes, les locaux, la comptabilité) ou de la conception d'ensemble d'un système d'information global qui exige l'utilisation d'un langage facilement compris et qui s'oriente notamment vers l'utilisation du télé-traitement des données à l'aide d'écrans de télévision

### 1.7. Modèles mathématiques : planification - simulation

On dispose ainsi toute une série de modèles "globaux" faits au sein du CERI mais antérieurs du programme IMHE, qui envisagent, de divers points de vue, la possibilité d'appliquer aux problèmes de la planification de l'enseignement un certain nombre de techniques apparentées, de recherche opérationnelle et de l'analyse des systèmes. Citons parmi d'autres les plus "connus" comme CAMPUS, HIS, RRPM, U.S.G.

(Références... )

1.8. Après ce rapide tour d'horizon, on va essayer de dégager une tendance des préoccupations des établissements de l'enseignement supérieur et leur évolution.

Avant 1973, les priorités étaient principalement centrées sur les questions, d'une part, d'analyses de coût, de contrôle financier et la planification, et d'autre part, de structures organisationnelles et de processus de prise de décision. C'était la conséquence directe d'une part de l'expansion des universités, due à la croissance rapide des effectifs étudiants, la concurrence croissante entre l'enseignement supérieur, les autres niveaux d'enseignement et les autres secteurs de l'économie en tant que parties prenantes de ressources budgétaires limitées, et, d'autre part, la mise en application des réformes du système universitaire (en France, la loi d'orientation).

Vers le milieu de 1973, les priorités sont principalement centrées, d'une part sur la collecte d'informations statistiques comparables tant pour l'affectation des ressources que pour la gestion, et, d'autre part, sur la mise au point d'indicateurs de performance dans tous les domaines.

En 1975, les établissements ont mis l'accent, d'une part, sur la gestion par objectifs fondée sur des techniques coûts- efficacité et les indicateurs de performance -et ceci dans tous les secteurs de l'Université- et d'autre part, sur l'utilisation de systèmes d'information pour la gestion, qu'ils soient sectoriels ou intégrés.

Cette époque, à notre avis, marque un pas important qui a conditionné au moins pour deux années les préoccupations des établissements membres du programme. Devant les difficultés qui continuaient, les universités (il faut peut-être préciser leurs représentants au IMHE) les universités ont à l'informatique. C'était la panacée de la gestion. La logique qui en découle est exemplaire :

L'intégration et la coordination de divers fichiers afin de construire un système d'information, digne de l'ordinateur, directement utilisable pour la gestion. Puisque la recherche d'une gestion par objectif fondée sur l'utilisation d'indicateurs de performance est aussi une des priorités retenues, ce système d'information doit être organisé de telle sorte qu'il puisse "nourrir" en indicateurs ou bien permettre rapidement les évaluations de dépenses par programme ou par centre de coûts. La question importante est celle de la



mise en oeuvre, de façon opérationnelle, de la gestion par objectif utilisant des informations budgétaires de dépenses par centre de coûts, ou par programme et reposant sur l'évaluation d'indicateurs. Ainsi, par exemple, "l'utilisation des techniques coûts-efficacité ou coûts-avantages est à développer systématiquement, notamment dans le domaine du choix entre plusieurs techniques pédagogiques ou dans celui de la gestion de la recherche". Il faut donc favoriser la mise au point de techniques coûts-avantages et coûts-efficacité directement utilisables par les universités.

En 1978, on ne peut pas parler encore de tendance dans la mesure où il n'y a pas eu une enquête sur l'ensemble des établissements membres. Mais, si on essaie d'interpréter, d'une façon très subjective, les préoccupations qui apparaissent dans les bulletins de liaison, et à la dernière réunion qui a eu lieu à Paris en juin 1978, on constate que le problème de l'évaluation et des indicateurs reste fondamental. Mais la façon de le traiter est nouvelle.

On parle d'évaluer les activités au lieu de contrôler les résultats. Puisque les résultats sont à long terme, et difficiles à mesurer on doit chercher des indicateurs de processus pour évaluer le rendement (efficiency). L'évaluation ne peut jamais être objective, elle est basée à des considérations éthiques et à des valeurs.

On précise que la gestion financière n'est jamais le but de l'Université ; mais une condition de son fonctionnement.

Les indicateurs économiques trouvent beaucoup de difficultés à être acceptés, et de toute façon ne doivent jamais cacher la rationalité politique. Ils doivent servir comme base pour la mise en oeuvre des politiques déterminées après des négociations.

Les universités sont des exemples des organisations à plusieurs buts, elles doivent avoir nécessairement une hiérarchie des buts basée non seulement aux préférences individuelles des personnes très intelligentes, mais en tenant compte des buts institutionnels et les pressions exercées de l'intérieur et de l'extérieur. Elles sont tournées vers une rationalité politique plutôt qu'à une rationalité économique. Ainsi n'importe quel modèle ou approche utilisé doit tenir compte de l'environnement institutionnel dans lequel l'université opère, et sa situation interne.

Comme on disait plus haut, c'est encore très tôt pour parler d'une nouvelle tendance, mais on pense que le changement de

ton est peut-être significatif.

On pourrait donc conclure cet aperçu en schématisant à l'extrême, que les propriétés de recherche formulées par les institutions membres du programme IMHE ont d'abord porté sur les questions de coûts et les problèmes de structure pour s'orienter ensuite vers la collecte d'informations et la mise au point d'indicateurs d'efficacité, et après aux systèmes d'information intégrés et l'utilisation des techniques coûts-efficacité.



## CHAPITRE 2

### BILAN CRITIQUE DES MODELES



Selon une définition proposée par B. ROY au colloque AFCET 1977, "un modèle est un schéma qui pour un champ de questions, est pris comme représentation abstraite d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'interrogation et/ou à la communication".

### *2.1. Modèles mathématiques*

Le terme modèle est utilisé ici pour désigner la représentation mathématique d'un établissement d'enseignement supérieur. Suivant cette acception, la construction de modèles consiste dans l'élaboration d'une série d'équations exprimant les activités de l'établissement sous forme de relations entre les variables susceptibles d'être contrôlées par les responsables de la gestion et celles qui s'échappent de ce contrôle.

Les théories qui expliquent de quelle façon on se propose de lier les variables entre elles et les rattacher aux objectifs fixés et aux instruments de contrôle peuvent être classées en deux catégories :

*théories empiriques* : la théorie part d'une série d'observations et cherche à les rattacher entre elles. Elle admet généralement que les premières tentatives faites dans ce sens ne seront que des approximations et elle compte sur l'expérience pour mettre en lumière les améliorations à adopter éventuellement, tant pour les données et leur mode d'articulation que pour la théorie elle-même (ex. : les modèles des flux-étudiants).

*théories abstraites (ou spéculatives)* : la théorie part d'un problème et cherche à voir comment il pourrait être résolu, en principe, même s'il n'existe pas de données disponibles au départ. Le problème souvent posé sous une forme très abstraite qui offre des chances de solutions si l'on utilise des méthodes suffisamment perfectionnées (ex. : modèles généraux de planification).

Cette distinction faite est de pure commodité. Elle ne signifie nullement que les premières n'aient rien à offrir à la spéculation, ni que les secondes ne puissent s'appliquer à des problèmes concrets. Mais, malgré les différences du point de vue, les modèles empiriques ou abstraits, partagent des difficultés du même type.

La construction d'un modèle nécessite que l'établissement ait une connaissance claire de ses objectifs, qu'il opère un classement de ses activités, qu'il attribue des valeurs quantitatives à ses objectifs et activités, qu'il saisisse les liaisons réciproques existant entre ses différentes parties, ainsi que les limites imposées par l'environnement.

En ce qui concerne le modèle lui-même, une des principales difficultés auxquelles se heurte sa construction tient à l'identification des hypothèses et des objectifs.

C'est dans la mesure où les hypothèses sur lesquelles il se fonde, et les opérations qu'il implique, correspondent à la réalité étudiée, qu'un modèle mathématique peut se révéler capable de résoudre un problème concret. Il est généralement assez facile de déterminer la nature des hypothèses mathématiques sur lesquelles se fondent le modèle et les opérations qu'il implique. Il est, en revanche, beaucoup plus difficile d'analyser la réalité à laquelle ce modèle doit s'appliquer. La réalité est presque inévitablement si complexe, qu'on est obligé de la simplifier grossièrement pour qu'un modèle mathématique utilisable, puisse la représenter convenablement.

En ce qui concerne son objectif, lorsqu'on choisit un modèle, il importe de savoir assez nettement à quel usage il est destiné. Si le modèle vise surtout à mettre au point une méthode

rationnelle ou logique, de planification par exemple, et d'habituer les intéressés à analyser les répercussions à long terme d'une décision avant de la prendre, des modèles assez simples peuvent suffire. Si le modèle mathématique n'est utilisé que par un théoricien "préoccupé" par un problème de planification, mais n'ayant pas de responsabilité directe dans ce domaine, il importe probablement assez peu de savoir si le modèle constitue, en un sens quelconque une approximation ou non de la réalité. De plus, il se peut que l'enseignant et le constructeur du modèle ne s'intéressent pas exactement aux mêmes questions. Par exemple, dans le cas des flux-étudiants, l'analyste aimerait surtout avoir des probabilités bien définies sur des étudiants qui poursuivent leurs études, l'enseignant souhaite surtout améliorer la proportion des étudiants. Ainsi, à mesure que la planification s'efforce de mettre au point un modèle utilisable, l'enseignant s'emploie à le mettre en défaut.

Dans la mesure où les modèles et les techniques quantitatives étaient destinés à aider les responsables de la gestion de l'Université dans l'élaboration d'une politique, c'est à la réussite dans la mise en oeuvre qui devrait être attribuée la priorité. L'exploration des expériences concrètes faites par divers groupements universitaires n'est pas très concluante.

Les modèles mathématiques présentent, sur le plan technique des faiblesses majeures :

- il est extrêmement difficile de mettre au point un modèle qui garde un juste milieu entre les possibilités mathématiques et la représentation réaliste de la situation. Dans la réalité, bien que les modèles mathématiques constituent des instruments sophistiqués, les prémisses sur lesquelles ils reposent sont beaucoup plus étroites que celles qui se trouvent mises en jeu dans la situation réelle de l'établissement universitaire.

- Les données nécessaires à la construction sont souvent si nombreuses que le temps et l'effort consacrés à la recherche des statistiques risquent d'annihiler les avantages à attendre. Quiconque plaide en faveur de leur application à une université doit tenter de justifier cette application sous un rapport coût/avantage.

La génération actuelle de modèles ne peut traiter que des



informations, activités et objectifs susceptibles d'être isolés et quantifiés avec précision, et dont les modifications puissent être mesurées. Les limites deviennent de plus en plus apparentes dans l'application des modèles aux entreprises industrielles, et elles contribuent à restreindre l'intérêt que présentent les modèles pour les établissements d'enseignement, dans lesquels même les activités centrales sont difficiles à séparer et à quantifier de façon précise. Ces difficultés n'ont pas besoin d'être décrites dans le détail. L'une des principales est la définition et la mesure de chacune des grandeurs de sortie, des universités. Les professeurs d'économétrie et de recherche opérationnelle, qui sont des spécialistes de la construction des modèles et qui ont également à résoudre des problèmes des universités au sein desquelles ils exercent leur activité, ont jusqu'à présent été incapables de coordonner leurs connaissances techniques spécialisées et leur expérience des établissements universitaires de façon à construire des modèles utilisables par une université. Même si les spécialistes parviennent à résoudre des problèmes tels que ceux concernant la production, les influences extérieures et la mesure de la qualité, il n'en demeure pas moins qu'un modèle économique ne possède pas une assise suffisamment large pour pouvoir être utilisée de façon opérationnelle dans une université. Une université est à la fois une organisation et une communauté ; les problèmes sociologiques, les droits individuels, la nature des tâches, etc., fixent des limites à l'action collective qui doivent être admises par les responsables de la gestion.

L'analyse du comportement et la connaissance du processus d'élaboration des décisions dans les universités demeurent en deçà du niveau de la recherche et du développement, de la complexité croissante atteinte par les techniques et modèles quantitatifs.

Enfin la plupart des modèles ne sont pas de nature dynamique, dans le sens qu'ils reposent sur l'hypothèse que les tendances actuelles se maintiendront dans l'avenir. Ils ne constituent pas encore des instruments suffisamment souples pour pouvoir être utilisés efficacement dans une université, qui est un organisme évoluant dans une large mesure sous l'action d'impulsions et de stimulants externes, infléchis par de fréquentes décisions politiques. Nous nous trouvons une fois de plus face au problème classique "passé, présent, futur", les études ont été effectuées à l'aide des

analyses d'organisations appartenant au "passé". Les concepts ont été définis par rapport à un certain type de situation. Mais l'utilité des études dépendra de la possibilité de les mettre en application dans "un futur" inconnu. Ceci exige une recherche approfondie des facteurs qui caractérisent le contexte de la situation. La situation prend autant d'importance que l'objet de l'étude, et les vecteurs qui déterminent la dynamique d'un phénomène ne peuvent être définis qu'en fonction de la totalité concrète qui comprend à la fois l'objet et son contexte.

Nous pensons que l'approche par la construction de modèles représente une étape vers l'amélioration des processus de gestion des universités. Toutefois pour que les progrès s'effectuent aussi rapidement et régulièrement que possible, il existe au moins deux conditions préalables.

- . La construction de modèles devrait être orientée dans le sens du développement faisant intervenir des équipes interdisciplinaires plutôt que conçue comme une activité de recherche pure. Elle nécessite une collaboration étroite entre spécialistes, de l'économie, de la recherche opérationnelle, de la sociologie, des techniques de gestion et des sciences du comportement.
- . Une participation effective des enseignants, en particulier pour introduire les comportements réels dans les modèles ou pour clarifier le rôle des modèles dans les situations réelles.

## *2.2. Systèmes d'information intégrés*

L'information est de plus en plus importante pour la gestion des universités. Elle est nécessaire à tous les niveaux de l'exécution, du contrôle et de la planification (la pyramide classique), au niveau de l'établissement aussi bien qu'au niveau régional et national. Afin d'obtenir cette information, nous avons besoin de mettre en oeuvre des S.I., ce qui devient de plus en plus complexe et coûteux avec l'utilisation de l'ordinateur.

Ceci est une déclaration de foi qui implicitement ou explicitement porte la thèse : le problème de la gestion est le manque d'information, si on arrive à interconnecter toutes les informations "pertinentes" on doit pouvoir gérer l'université d'une

façon rationnelle, heureusement l'ordinateur est là et il va résoudre nos problèmes, et comme il ne peut pas accepter des ambiguïtés, on doit identifier les problèmes et les fonctions, formaliser et codifier toutes les informations. Evidemment, les hommes placés dans ces fonctions sont capables d'exprimer les informations nécessaires pour prendre des décisions et réaliser leurs tâches.

Ici, il ne s'agit pas de nier que l'ordinateur peut rendre aux responsables de la gestion (qui sont immenses) mais de critiquer la logique qui soutient cette thèse. On ne peut pas le faire mieux que ne le fait Milèse (\*) ... "pour résumer la demande de l'informatique et la thèse du management qui l'accompagne, celles-ci font l'hypothèse que l'information est en toutes circonstances un objet définissable ... "le concept de système d'information est devenu un concept fourre-tout... il occulte de fait la problématique de l'information car, l'approche traditionnelle :

- substitue la notion de "donnée" à celle d'information signifiante pour chaque individu ; ce qu'on bâtit, en fait, ce sont des systèmes de données ;
- se limite aux données quantitatives et codifiables, par exemple les données comptables, budgétaires, techniques et commerciales, négligeant l'information qualitative, informelle, floue, associative ;
- substitue la notion de besoin de données pertinentes à celle de désir d'information ;
- ignore les langages propres à chaque niveau de l'entreprise et les transferts de signification d'un niveau à l'autre".

Pour J. Mèlèse, "le fond du problème" est :

- *qu'est-ce qui est information pour un individu particulier dans une situation donnée à un moment précis ?*
- *qu'est-ce qui a de la signification pour lui ?*
- *quels sont ses desirs d'information ?*
- *comment l'organisation conditionne-t-elle l'information et réciproquement.*

*Faute de chercher la réponse à de telles questions, on s'est*

*attaché à sérier et à codifier des besoins d'information en définissant des systèmes d'information comptables, budgétaires, financiers, ..."*

*Ce souci de fractionnement, de codification, de quantification a conduit à bâtir des systèmes de données dont le contenu informationnel, pour les gestionnaires, est souvent très faible par rapport à leur coût et à leur lourdeur : l'information est passée à travers les mailles du réseau formé par ces systèmes."*

La collecte des données n'est pas une fin en soi. Elle n'est qu'un moyen de faciliter la prise des décisions. De nombreuses techniques, pour la collecte des données existent, mais elles ne sont pas neutres.

Le problème est encore plus aigu, quand on cherche des *"indicateurs d'évaluation de l'efficacité"* d'une université. Choisir une stratégie d'évaluation ne devrait pas dépendre d'une technique, d'une source d'information ou d'une mode intellectuelle quelconque, mais de l'analyse des problèmes et de la nature des décisions à prendre.

Il ne faut pas s'étonner donc, du fait que tous les efforts déployés pour la conception et la mise en place des systèmes d'informations, basés sur le concept MIS, ont pu sécuriser les administrateurs, mais ils n'ont pas pu fournir des solutions aux problèmes que se posent les responsables de l'université.

La question des indicateurs pour le contrôle reste ouverte, et les recherches doivent se poursuivre. Il faut trouver des variables de contrôle, en partant des caractéristiques du fonctionnement de l'université et des buts auxquels il doit répondre. L'ensemble de l'effort doit se fonder sur les conditions et les informations existantes, sur "la situation informationnelle" de l'établissement et non sur des conditions hypothétiques ou une information idéale. Trouver des modalités de contrôle adéquates, et adaptables, c'est-à-dire comporter un système de "mémoire" qui leur permettra de s'ajuster aux circonstances d'après l'expérience acquise.

### *2.3. Problèmes de concepts et de terminologie*

On aimerait souligner les difficultés rencontrées quand nous employons, pour parler des organismes universitaires, le langage propre à d'autres types d'organisation. L'université est une forme très particulière d'organisation ; pour en parler,

les analogies tirées du domaine de l'organisation industrielle ou politique sont peu satisfaisantes, voire impropres. L'isomorphisme n'existe pas. Toutefois, on doit constater l'unanimité qui règne chez les théoriciens et chez les praticiens sur un certain nombre de principes d'organisation. Ainsi, devant le besoin ressenti d'instaurer une gestion "rigoureuse" et "rationnelle" à l'université, il était naturel d'essayer d'appliquer ces techniques efficaces des entreprises industrielles. Or ce transfert ne va pas de soi, et, à notre sens, peut expliquer la rupture entre les "technocrates" du ministère ou de l'université d'une part, et les professeurs et étudiants de l'autre.

On va présenter très rapidement les concepts d'Ansoff et Braudenburg pour une organisation efficace (ref. \*). Dans cet article, les auteurs présentent un cadre général "pour repenser l'organisation". Nous pensons qu'il est assez caractéristique pour illustrer notre propos.

Les auteurs font d'abord une distinction entre les activités logistiques ou productives, et les activités de gestion ou de planification. Les activités logistiques s'effectuent à l'intérieur de la firme en vue de convertir les ressources physiques et d'information en produits finis ou services vendus par l'entreprise à ses clients.

Les activités de gestion sont structurées selon deux dimensions :

- . Types de problèmes que les dirigeants doivent résoudre,
- . Processus de solution des problèmes utilisés par les dirigeants.

La réalisation d  
trois éléments principaux :

- . la stratégie choisie ;
- . la structure édifée,
- . et la manière dont on fait fonctionner cette structure.

Pour étudier l'efficacité de l'organisation, ils regroupent une série des critères en quatre catégories d'attributs de l'organisation.

- Le premier est "l'efficience en état stable" ; elle

doit caractériser le fonctionnement d'une organisation lorsque les niveaux et la nature de l'activité restent relativement stables au cours du temps. L'efficacité dépend fortement de la configuration des éléments de l'organisation du domaine logistique (procédures d'allocation des ressources, systèmes de rémunération, système d'information, objectifs et mode de contrôle de gestion), la structure optimale étant finalement celle qui produirait un niveau d'activité spécifié au moindre coût, sur le plan de système de gestion, le problème majeur est la répartition des responsabilités de décision entre les divers minéraux par une décentralisation adéquate et le maintien d'un encadrement supérieure léger, avec juste assez de capacité pour assurer la charge de décision à prendre. Il est évident que cet "encadrement léger" doit se traduire en pratique par un nombre de personnes en relation avec les types et le nombre des décisions ; tableau 1.

- La souplesse opérationnelle, concerne la capacité d'une organisation à effectuer des changements rapides et efficaces dans les niveaux d'activité. Ces changements peuvent être nécessités par des modifications dans le niveau de la demande ou par les initiatives émanant des concurrents. La souplesse opérationnelle implique indiscutablement des caractéristiques opposées à celles des organismes en état stable. Par contraste avec l'état stable, la préférence va vers des décisions localisées "là où se situe l'action" afin d'assurer de promptes réactions.

- Le troisième critère est la souplesse stratégique, qui mesure la capacité de l'organisation à réagir à des changements dans la nature (plutôt que dans le volume) de son activité. La souplesse stratégique crée des exigences difficiles pour une structure d'organisation, mais qui sont très nettement fonction des impératifs d'adéquation plus ou moins rapides des moyens aux fins. Les conditions fondamentales à poser sont celles d'une capacité pour l'organisation à appréhender convenablement les modifications et grandes tendances de l'environnement de l'organisation pour les transformer en nouveaux objectifs opérationnels. Les critères permettant d'apprécier la qualité de la souplesse stratégique de la structure sont résumés dans le tableau 2 (en annexe).

- Le quatrième critère est celui de la souplesse structurelle ; il mesure la capacité d'une organisation à se transformer,

aussi bien lorsque les changements de stratégie l'exigent que lorsque les activités logistiques évoluent. Quand les procédures de décisions sont susceptibles de transformation et d'amélioration par l'introduction du traitement informatique en ordinateur, les structures doivent pouvoir s'adapter à des conditions nouvelles de fonctionnement.

Il reste à assortir ces quatre critères d'efficacité de deux critères de possibilités.

. Possibilité économique ; elle se mesure d'après l'existence des ressources financières, humaines et physiques nécessaires pour créer et faire marcher l'organisation. A long terme, cette possibilité pourrait être ramenée à l'existence d'un financement suffisant.

. Possibilité en ressources humaines ; elle est mesurée par l'accord entre les ressources humaines disponibles et les exigences de la structure.

..

2.4. Tout le monde peut se mettre d'accord sur ces critères au niveau théorique (autant que l'on puisse se mettre d'accord sur les définitions, "état stable", "production", "structure optimale"). En examinant les caractéristiques des structures efficaces (tableaux 1,2,3) on constate que l'université se trouve au plus bas niveau d'"efficacité". Ainsi on essaye d'améliorer son "efficacité" en se basant sur ces principes (ou à des principes analogues).

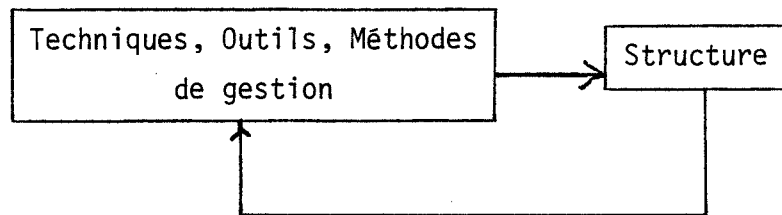
Or les concepts présentés découlent d'une logique propre aux entreprises industrielles. Dans le cas d'une entreprise privée, la sanction économique, concurrence, progrès technique, a un impact direct ; pour l'université cette forme de sanction n'est que très peu, voire pas du tout ressentie.

La rationalité économique est une condition nécessaire pour la survie de l'entreprise, mais pas pour l'université.

Le contrôle des finances pour prendre un exemple n'exerce en aucun cas des activités du type de celles que recouvre la fonction du contrôleur de gestion dans l'entreprise ; pour le premier il s'agit de vérifier la conformité des dépenses aux budgets alloués, par poste budgétaire ; pour le second, il s'agit de s'interroger sur l'efficacité, l'opportunité et les tendances d'évolution des coûts.

On se trouve devant deux types d'organisation, dont les

contextes sont très différents. Et ce qui est bon pour un contexte n'est pas forcément bon pour l'autre. En intervenant sur des aspects particuliers et isolés de l'organisation universitaire, avec le souci de la rationalité économique on court vers l'échec le plus total, dans la mesure où on tient par contre le contexte universitaire dans sa totalité. On essaie de créer une structure "rationnelle" et "efficace", calquer sur le modèle des entreprises privées, et on est devant le "cycle pervers" (selon l'expression de B. LUSSATA).



Supposons que l'on puisse arriver, ce n'est pas du tout évident que la structure que l'on va obtenir soit adaptée aux missions et le rôle de l'université. Les réponses que l'on puisse donner aux interrogations relatives à l'efficacité des structures sont impossibles en l'absence d'une claire vision de ce qui doit être "l'effet désiré", en d'autres termes à quelles stratégies et politiques, les objectifs fixés à l'université doivent répondre.

Le schéma qui suit montre le "cycle normal".

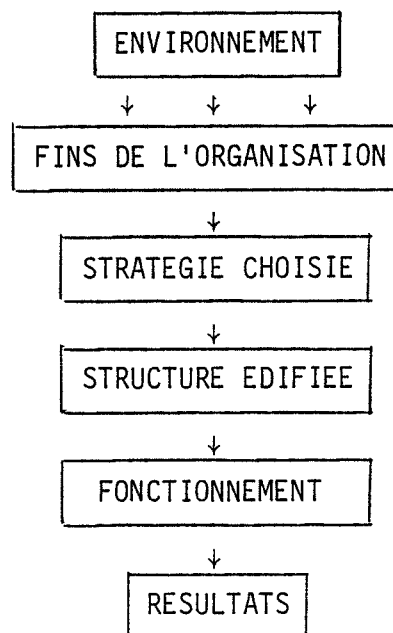


Schéma 1



On pourrait résumer les faiblesses et les difficultés auxquelles sont heurtés les modèles jusqu'à maintenant à deux points :

- *non prise en compte du contexte intérieur et/ou extérieur spécifique à l'université.*
- *confusion entre :*
  - . *la complexité due au nombre de variables à prendre en compte,*
  - . *complexité due à l'existence de plusieurs niveaux.*

C'est une distinction très importante. Inclure ou exclure des variables ou un processus du modèle est souvent moins important que de négliger des variables ou des processus qui, pendant une période historique, sont susceptibles de maintenir, de modifier les relations déjà considérées à la description de la situation.

Le passage d'un système universitaire à l'autre est impossible si sa réalité du moment n'est pas analysée et fouillée en elle-même. Or l'examen de la situation actuelle nécessite une méthodologie de description (ou d'"interprétation" comme dit J.L. LEMOIGNE) d'un langage permettant de cerner et formuler les problèmes. La rationalité dans le domaine de la "maîtrise" de l'université, consiste à trouver des associations adéquates entre la *situation à maîtriser et les modalités ou instruments disponibles*. Malgré toutes ces difficultés, on est obligé de continuer à concevoir des modèles ; c'est par là que passe le chemin vers le progrès ne serait-ce, comme dit BATISON (\* ref) que parce que :

"La première chose à faire pour échapper au péché est de multiplier les fautes..., on pourra plus suivre une ligne de pensée ou de conduite au moment où les absurdités qu'elle engendre deviennent évidentes".

Il nous semble nécessaire de développer des théories et des modèles qui rendent compte de la structure et le comportement de l'université à des contextes différents et à des périodes différentes et qu'ils puissent englober des modèles "locaux".

De tels modèles doivent accomplir trois tâches :

1. distinguer ou identifier les contextes ou les processus contextuels qui sont pertinents à l'université.

2. Préciser les relations entre les conditions externes et les propriétés qui caractérisent la situation.
3. Fournir des règles (mode d'emploi) qui indiquent quand il faut utiliser un type de modèle et quand une transition est nécessaire.

TABLEAU 1

	<i>Efficience en état stable</i>	<i>Réaction au niveau opérationnel</i>
<i>Système logistique</i>	<p>Economies d'échelle</p> <p>Economies de talents et de frais généraux (synergie)</p> <p>Capacité ajustée à la demande</p> <p>Coûts minimum de transport logistique</p> <p>Activités logistiques situées dans des zones à faible coût de matière et de main d'oeuvre</p> <p>Activités logistiques situées là où se trouvent les ressources de base</p>	<p>Faibles délais de transfert entre activités logistiques</p> <p>Communication entre fonctions logistiques</p> <p>Réserve de capacité de traitement de l'information</p> <p>Produits disponibles sur les lieux où se trouvent les marchés</p> <p>Stocks équilibrés</p>
<i>Système de gestion</i>	<p>Décisions situées à des niveaux où toutes les options importantes sont perceptibles</p> <p>Décisions centralisées à des niveaux permettant la coordination à des échelons inférieurs d'activités liées</p> <p>Décisions décentralisées à des niveaux où l'optimisation locale conduit à une optimisation globale</p> <p>Capacité de gestion : minimum exigé pour faire face à la demande (minimisation du rapport : indirectement productifs/directement productifs)</p> <p>Normes de performance explicite (si possible quantitatives)</p> <p>Gestion par les écarts</p>	<p>Système interne d'information de gestion</p> <p>Système d'information concurrentiel</p> <p>Décisions décentralisées au niveau de l'action</p> <p>Décisions centralisées au niveau exigé par l'introduction de changements effectifs dans l'activité logistique</p> <p>Répartition claire des décisions</p> <p>Délais de réaction rapide des décisions</p> <p>Réserve de capacité de décision</p> <p>Plans d'urgence pour des changements dans le niveau d'activité</p>

TABLEAU 2

*Système logistique*

*Système de gestion*

*Souplesse stratégique*

*Souplesse structurelle*

<p>Percevoir les menaces et possibilités en matière de produits/marchés</p> <p>Création interne d'initiatives stratégiques</p> <p>Communication efficace à la Direction des risques, des chances, et des initiatives à prendre</p> <p>Minimum de conflits entre activités stables et innovatrices au sein de chaque fonction</p> <p>Transfert de produits nouveaux de fonction à fonction</p> <p>Capacité adéquate d'innovation</p> <p>Capacité de transférer les actifs vers de nouveaux produits et de nouveaux marchés</p> <p>Capacité de transférer personnel et matériel à des produits et marchés nouveaux</p> <p>Milieu de travail suscitant l'innovation</p> <p>Système d'incitation à des innovations structurelles</p>	<p>Suivre les techniques de production</p> <p>Susciter des changements dans la technique de production</p> <p>R-D de techniques de gestion</p> <p>Structure modifiable (extension-contraction)</p> <p>Possibilités de restructurer les actifs</p> <p>Milieu de travail suscitant l'innovation</p> <p>Système souple de promotion</p> <p>Système d'incitation à des innovations structurelles</p> <p>Système institutionnalisé de formation et de promotion du personnel et des cadres de direction</p>
<p>Système d'information stratégique</p> <p>Formulation claire des objectifs et des priorités</p> <p>Formulation de la stratégie</p> <p>Communication de la stratégie à la fonction logistique</p> <p>Evaluation des initiatives stratégiques</p> <p>Système pour transférer l'innovation d'une fonction à une autre</p>	<p>Suivre les techniques de gestion</p> <p>Ouvrir des circuits multiples d'information pour la direction</p> <p>Prévision des besoins de changement</p> <p>Evaluation des changements proposés</p> <p>Concertation dans les décisions de changements structurels</p> <p>Participation du personnel logistique aux décisions de changement du système logistique</p> <p>Décisions décentralisées</p>

TABLEAU 2 (suite)

	<i>Souplesse stratégique</i>	<i>Souplesse structurelle</i>
<i>Système de gestion</i>	Répartition claire des décisions stratégiques Capacité de changement stratégique chez la Direction Système de rémunération encourageant l'innovation stratégique	Capacité de la Direction à opérer des changements structurels Système de rémunération incitant à l'innovation structurelle Système de promotion souple

## CHAPITRE 3

### THEORIE DES SYSTEMES



### 3.1. Le processus de modélisation

L'Université est un lieu stratégique pour la société car s'effectue la recherche et l'enseignement, la production et la reproduction des connaissances et des professions.

Les outils économiques néoclassiques paraissent particulièrement inadaptés pour l'étude d'un domaine d'activité non productif, les études de coût, de consommation ne sont ici que des techniques incapables d'expliquer le fonctionnement de l'Université, et il va de même pour des théories classiques des organisations.

Or on ne peut pas poser les sous problèmes et trouver les bonnes solutions si l'Université et son contexte ne sont pas compris. Il faut d'abord comprendre, ensuite diagnostiquer, enfin prescrire ; et comme on écrivait au dernier chapitre pour refaire on ne peut pas s'en passer des modèles.

La science commence en pratique par l'observation et la collecte des données, les données sont des faits dus à une situation et c'est elle qui compte, mais son but fondamental est de découvrir une organisation des choses, une structuration des faits. C'est la compréhension de telles structures qui nous donne la capacité de prédire.

Devant une partie de la réalité, l'esprit se fait une *représentation* ; c'est l'interprétation personnelle de la situation. C'est le modèle de la situation il n'a même pas une existence physique, c'est une idée. On l'appelle modèle conceptuel : MC (\*). Le modèle conceptuel du scientifique se fonde sur une analogie avec un domaine de la science. Evidemment l'analogie scientifique autant que le modèle conceptuel, doit elle aussi correspondre à la situation.

---

(\*) cf. Beer. *Devision and Control*



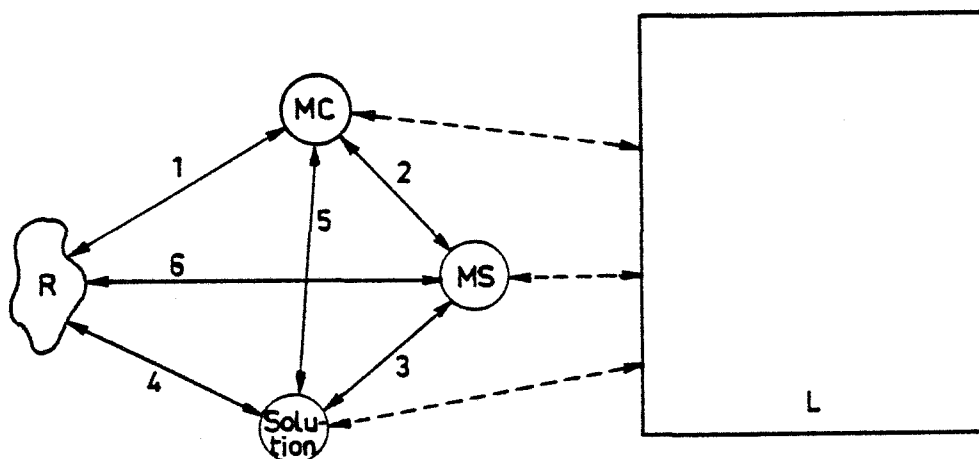
On peut citer Boulding :

*"When a man is faced with an empirical system of some kind, he has an uncontrollable urge to produce a mental system or an image in his           whisch is a model or an explanation of the empirical system he encounters. Empirical systems in the outside would ave very complex and, as we all know, it is extremely hard to fsud out what is their systématique nature. It is not surprising, therefore, that we argue by analogy from systems we know, to systems we think we do not know".*

La science contribue à la formation du modèle conceptuel et fournit des langages  $L$ , qui combinés avec celui-ci permettent de former un modèle scientifique :  $MS$ , de la situation réelle. Le modèle scientifique fourni à son tour des techniques :  $T$ , qui permettent de manipuler la situation réelle. Le modèle a quelque chose de commun avec une hypothèse sur le fonctionnement du système, et aussi avec une théorie des règles qui régissent la situation. Mais une différence de nature le sépare de ces concepts traditionnels.

En effet le modèle est une représentation avec laquelle on peut opérer.

Le schéma, ci-dessous indique le processus (\*).



(\*) - Staf. Beer Decision and Control

- Mitroff and Betz : On managing science in the Systems Age.

- (1) Conceptualisation : la capacité de "formuler" des problèmes intéressants
- (2) Modélisation : formulation des relations significatives à l'intérieur d'un système de pensée abstraite
- (3) Solution du modèle : la capacité de déduire des conclusions significatives d'un modèle
- (4) Mise en oeuvre : la capacité de réaliser et de mettre en oeuvre des changements significatifs
- (5) La vérification de la correspondance de la solution à la réalité
- (6) Validation : examen permanent pour évaluation du modèle scientifique

Notons que ce processus n'est pas sequentiel, notamment la mise en oeuvre est une activité qui doit être en permanence sur les quatre points du diagramme.

Dans ce chapitre, on va préciser des notions et des concepts lesquels vont nous fournir une grille d'analyse adaptée à l'université, en tenant compte des critères que l'on a posé à la fin du chapitre trois.

Ce cadre conceptuel que l'on va utiliser comme outil méthodologique est l'approche-système.

- . par les définitions théoriques : il doit nous fournir des types de caractéristiques générales qui permettent de poser des questions pertinentes sur l'Université.
- . mieux comprendre le contexte spécifique à l'Université et pouvoir utiliser "le bon outil au bon moment".

Note : dans le processus de modélisation que l'on vient de décrire, notre démarche consiste à enrichir le réservoir *L*.

### 3.2. Définition de la notion du système

Comme bien des disciplines nouvelles dont la terminologie n'est pas encore assurée, la théorie des systèmes est ambiguë et recouvre des réalités très différentes les unes des autres.

On va commencer par bien définir la notion de système parce que ce vocable s'applique à de nombreux concepts et que les théories qui en découlent n'ont que peu de rapports entre elles. On ne saurait par conséquent appliquer sans risques d'erreurs l'une d'elles à un domaine qui ne lui est pas réservé.

L'on sait à ce propos tout le mal qu'on pu faire dans l'environnement de l'Université des théories valables dans un milieu strictement scientifique ou technologique. L'échec de nombreuses installations informatiques, celui des précisions de certaines économies, dus le plus souvent à la rigidité de leurs modèles de simulation, montrent assez qu'avant d'appliquer une théorie, il faut se préoccuper de l'opportunité et de l'adaptation du modèle à son domaine.

Une première définition est celle donnée par Mesarovic. Un système peut être conçu comme un ensemble :

- 1) d'objets formels définis implicitement
- 2) de transformations élémentaires
- 3) de régler qui forment des séquences
- 4) de propositions précisant les formes initiales des objets formels.

On retrouve les réflexions épistémologiques qui sont utilisées à la construction des théories mathématiques : *axiomes*, *dérivations* et *règles d'écriture*. Il arrive un moment où l'on ne peut définir un système par les éléments qui se présentent comme l'indique le 4°), sous certaines formes initiales évoluant dans le temps.

Cette définition est très proche de celle que propose les théories axiomatiques des mathématiques. Il y a des axiomes qui ne sont autres que des propositions diviser arbitrairement. C'est à partir de celles-ci et grâce à un certain nombre de règles d'écriture, d'expansion et de dérivation, que découlent les théories. Il faut se rendre compte que les responsables de la gestion ont des conceptions de leur organisation qui se réduisent à des systèmes de ce type, avec la différence que les axiomes ne se trouvent pas derrière, mais devant eux : ce sont les objectifs de l'Université. Lorsqu'on analyse les activités avant de remonter aux finalités, on se livre en fait à une validation des propositions. A l'origine de cette opération se trouve les questions : pourquoi ceci, pourquoi celà?..

Il arrive cependant un moment où l'on est conduit à répondre simplement "parce qu'il en est ainsi". L'on abouti à des axiomes que sont les finalités de l'Université. Le rattachement fautif des objectifs (les théorèmes des logiciens) aux finalités ou des définitions implicites (axiomes et postulats) peuvent conduire à des con-

flits dans l'Université, en outre l'Université et la société. Lorsque les propositions sont fournies par rapport aux axiomes, on a un système à finalités contradictoires.

### 3.2.1. Définition cybernétique - Information

Une autre définition est celle donnée par KLIR et VALLACH (\*). La plupart des auteurs partagent avec eux la définition qu'ils ont donnée, quitte ensuite à la complexifier. Un système en effet serait constitué simplement par un doublet  $S = (A, R)$ .  $A$  est l'Université du système c'est-à-dire l'ensemble des éléments qui le constituent.  $R$  est la caractéristique du systèmes c'est-à-dire l'ensemble des relations qui lient ces éléments entre eux. Un ensemble est pris dans un univers dans lequel coexistent l'ensemble  $U$  et l'ensemble non  $A$ . Le complémentaire de  $A$  c'est l'environnement du système :  $E$ .  $S$  et  $E$  sont en interaction ; la manière avec laquelle  $S$  influence son environnement et vice versa dépend, en général des propriétés du système et de la manière que l'environnement agit sur le système. En général quand on étudie un système on tient compte un nombre fini de relations entre le système et son environnement, ainsi ils distinguent l'environnement substantiel :  $(ES)$  c'est-à-dire un nombre limité d'éléments de l'environnement qui nous intéressent. Ils proposent la classification suivante en fonction du type de relations que le système et l'environnement établissent :

- . système *absolument fermé* : par d'interaction avec l' $ES$ .
- . système *relativement fermé* : il y a des canaux à travers lesquels le système agit sur l'environnement et des canaux à travers lesquels l'environnement agit sur le système ; et ces canaux sont bien définis.
- . système *ouvert* : on considère tous les effets possibles de l'environnement sur le système et vice versa.

Dans leur ouvrage, ils considèrent les systèmes qui sont *relativement fermé* : les systèmes fermés du point de vue d'échanges de matière et d'énergie, mais relativement fermé du point de vue de leurs échanges d'information.

Tous les effets de l'environnement sont des stimuli (input) et en effets du système sur l'environnement des réponses (output).

---

(\*) *Cybernetic Modelling.*

Dans chaque système on distingue deux propriétés de base.

1. *son comportement*
2. *sa structure*

Le comportement est la dépendance des réponses aux stimuli, et par structure on signifie l'organisation des éléments du système.

Klir et Vallach traitent les *systèmes cybernétiques* c'est-à-dire ils examinent les systèmes du point de vue des échanges et information.

L'information est le concept central de la cybernétique ; la relation entre cybernétique et information est analogue à la relation entre la mathématique et le concept de nombre.

En fait l'information est parmi les concepts clés de toutes les théories des systèmes.

Dans les cas les plus généraux, *l'information est la mesure de l'organisation du système* ; or la relation entre l'organisation et l'information n'est pas encore dominée. La difficulté principale est que l'information dépend non seulement de la "*quantité*" *d'information* mais aussi de la *qualité*. Quand on met en relation deux systèmes, *l'organisation de l'un constitue une information pour l'autre*. Il apparaît que la quantité d'information est donnée non seulement par la quantité d'organisation de deux systèmes considérés séparément, mais à un très grand degré, des relations mutuelles entre les deux. La quantité d'information dans un signal n'est pas donnée par l'organisation en absolue du système physique qui forme le signal, mais aussi *par le niveau de résolution utilisé pour l'appréhender*. Un système donné reçoit de l'information quand son environnement agit sur lui par des stimuli qui augmentent son organisation. Chaque système est capable de recevoir directement certains types de signaux seulement (sélectif à la réception des signaux) et il peut les recevoir seulement à un niveau donné de résolution.

Si à l'arrivée d'un signal à l'entrée d'un système, l'organisation du système change et reste changé même quand le signal n'agit plus, le système "*mémorisé*" l'information contenue dans le signal ; si dans le système l'organisation se modifie, l'informa-

tion est traitée, si l'organisation introduite est déplacée sans modification, on parle de transfert d'information.

Si le système transfère une partie de son organisation à l'environnement ou vice-versa. On parle de *contrôle*.

On voit dans ce contexte que le mot "*contrôle*" est l'*attribut d'un système*. Le système, on peut l'imaginer comme un réseau, les arcs (liaisons) qui forment notre réseau sont les communications et les sommets les éléments. L'état des arcs reflète l'information dans le système. La structure des communications et la nature des informations qui les traversent déterminent un moment donné l'état du système. Ainsi la nature et la dimension du contrôle exercé est révélée par le comportement de ce réseau (\*)

c'est  
Selon E. Morin (\*\*), dans cette façon de voir de la cybernétique que l'on trouve son originalité :

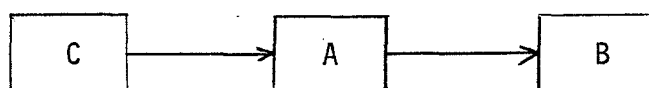
"la première originalité de la cybernétique a été de concevoir la communication en termes organisationnels ; la communication constitue une liaison organisationnelle qui s'effectue par la transmission et l'échange de signaux ; la seconde originalité de la cybernétique est de lier communication et commande informationnelle".

L'organisation du système lie des éléments (événements ou individus ou groupe d'individus) et ces éléments internes ou externes et quelle que soit leur nature transportent de l'information ; et cette information peut augmenter l'organisation du système ou de le désorganiser si elle ne peut pas être comprise, (*bruit*).

Dans cet ordre d'idées on va étudier la relation entre émetteur-récepteur. On suit la notation et l'exposé du Klir-Vallach.

On considère trois systèmes A, B, C le système A doit informer B sur C (B récepteur, C émetteur).

La situation se présente de la manière suivante : pour que A puisse communiquer à B des informations concernant C, A doit posséder ou acquérir cette information, ainsi il est en contact direct ou indirect avec C. Le système A observe C ou C émet des signaux qui sont



(\*) Sg. Beer *Cybernetics and Management*

(\*\*) E. Morin "*La Méthode*"

reçus par A, ces signaux fournissent à A la base pour fournir l'information sur C. Ainsi le système A joue le rôle de médiateur entre B et C. Pour que le système A puisse passer l'information à B, il y a deux conditions qui doivent être remplies.

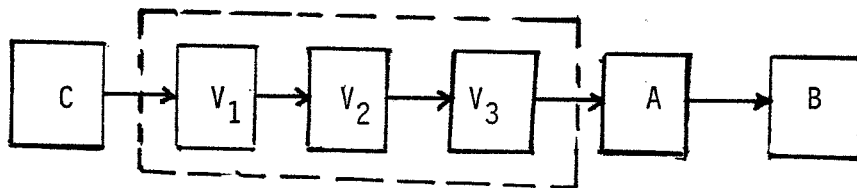
1. A est capable de stocker les signaux (au moins momentanément, ainsi il doit posséder une mémoire.
2. A doit pouvoir restituer, au moment approprié les signaux stockés dans sa mémoire.

Le cas le plus simple : A joue le rôle de transit, les signaux dans leur forme d'origine passent à travers lui sans modification (ex : une bande magnétique, un film photographique ...)

Si A est plus compliqué, il est muni des dispositifs pour le traitement des signaux reçus et dans ce cas A doit posséder des instructions et/ou des méthodes et/ou des règles et/ou des programmes de routine. On dira que le système A incorpore certaines règles *R* selon lesquelles traite les signaux.

L'information concernant C, qui passe par A est basée sur les signaux stockés dans la mémoire de A et consiste des signaux reçus de C traités selon les règles *R*. Ces deux types des signaux, stockés en mémoire forment un système qui est le modèle de C dans A ; on l'appelle *modèle propre* de C dans A (c'est-à-dire signaux reçus de C et signaux traités). Pour l'instant on laisse à côté la dimension temporelle.

Regardons maintenant de plus près le type de signaux utilisés par A pour construire *le modèle propre* de C. Il se peut que A ne soit pas en contact direct avec C ; il y a un certain nombre de systèmes qui s'intercalent et A agit sur la base des signaux traités par les systèmes intermédiaires



Le système A ne peut pas vérifier directement la validité des signaux qui lui arrivent comme émanant de C. Parmi les règles *R* (i.e. celles qui déterminent le traitement des signaux reçus par C) le système A doit posséder la capacité de "sélection" en isolant les signaux qui ne concernent pas C. On va noter *RS* les règles de solution de A. Ces règles de sélection sont une propriété de A. A partir du moment où A applique ces règles, c'est son affaire de décider si les signaux qui lui arrivent concernent vraiment C ou non. Du point de vue de l'observateur A est un système qui a *sa propre attitude* concernant les signaux qu'il reçoit. Evidemment il faut comprendre "*sa propre attitude*" : A choisit et évalue les signaux reçus selon les règles *R* et *RS*. On est devant une situation de "*prise de décision*" et traitement des décisions qui dépend uniquement de A.

Résumons : A est un système qui reçoit des signaux provenant de C, ou concernant C ; C est le système pour lequel A doit fournir une information.

*Définition* : le modèle propre, CA, de C dans A est un ensemble de signaux, reçus, traités et stockés dans sa mémoire par A comme signaux concernant C.

Du point de vue du système A, *CA est formé subjectivement ; c'est un modèle qui simule C dans A.*

Le transfert du modèle propre CA vers le système B.

On a considéré le modèle propre dans A comme un substitut de C : CA est un modèle de C dans A. Quand le système A est interrogé sur C, les réponses qu'il fournira seront en relation avec CA.

(A ne communique plus avec C). La situation est maintenant compliquée :

1. CA ne correspond forcément à C, ou approximativement ou il est l'image fidèle ; ainsi B risque d'être mal informé.
2. Le système A à CA tout prêt ; il peut transmettre l'information à B, mais pas forcément avec le même type de signaux et dans le même ordre que lui a utilisé pour la construction de CA, et en plus s'il a effectué ses propres transformations, il les transmet incorporés à l'image qu'il va envoyer à B. Ainsi avec l'interaction de A et B le modèle CA est transféré graduellement ou instantanément à B mais par des signaux différents de ceux



qui ont été utilisés pour sa construction dans A. Le fait que B utilise les mêmes règles, R, pour la construction de CB ne garantit pas que le modèle de C dans B sera le même comme dans A.

3. Finalement même si le même modèle propre de C dans A et B est le même, les deux systèmes ne vont pas l'utiliser de la même façon. Ceci est très important à préciser, puisque dans les cas compliqués, quand, par exemple les systèmes sont des hommes, *on peut apprendre qu'est-ce que c'est le modèle propre seulement en posant des questions, or les réponses que l'on peut recevoir concernant le modèle propre sont fonction de l'usage que chaque système fait du modèle propre.*
4. L'instrument pour le transfert des modèles propres est le langage. Il paraît évident que les systèmes doivent comprendre le même langage.

Ce développement théorique peut nous faire rendre compte de toutes les distorsions d'information ~~qui sont~~ véhiculées dans l'Université, qui en fait sont dues à des perceptions différentes. La signification de l'information a un aspect global et historique car elle émerge des représentations mentales de tout individu qui est "informé" tout au long de son histoire, par l'ensemble des signaux qu'il perçoit et le contexte dans lequel les signaux d'une part et lui-même de l'autre se trouvent (*le contexte du signal est un métamessage qui clarifie le signal*).

C'est ainsi que les modèles propres que chaque universitaire fait d'une situation qui peut concerner, l'enseignement, la recherche, la répartition des ressources, les objectifs en général de l'Université, sont rarement en concordance avec les modèles propres des autres.

Au plan de la gestion, ceci, nous indique qu'il ne suffit pas d'avoir un modèle propre fidèle de l'Université, mais il faut aussi que tous les autres intéressés le partage.

La confrontation des objectifs des différentes unités présente un caractère complexe car elle prend en compte la notion de conflit, de temps et d'information dont l'un des rôles consiste à rendre plus claire l'interdépendance des objectifs.

Cette discussion abstraite constitue la base théorique du modèle de planification décentralisée que l'on propose plus loin. L'analyse de la structure du système décentralisé passe par celle du système de décision de ses unités composantes donc de l'échange d'information.

Un caractère fondamental d'une organisation décentralisée est le rôle central qui y est donné à l'information. Kornai (\*) a essayé de systématiser ce besoin d'information en distinguant deux types de structure d'informations : la structure simple, qui correspond à la conception classique que l'on se fait dans un modèle économique, et la structure complexe où l'information apparaît comme une composante de la procédure de planification. L'information y est considérée à la fois comme un moyen et comme objectif.

Critère	Structure simple de l'information	Structure complexe de l'information
1. Nature de l'information	Prix ou quantités physiques	Prix ou tout autre indicateur
2. Emetteur de l'information	L'émetteur est unique et peut être anonyme	Les émetteurs sont multiples et connus
3. Processus d'élaboration de l'information	Processus mécaniste	Processus autogénérateur à information croissante
4. Information dans le temps	L'information est simultanée à l'évènement dont elle est le reflet	L'information peut être du domaine de la prévision, de la description ou de l'interprétation explicative. Elle peut donc être antérieure, simultanée ou postérieure à l'évènement
5. Degré de finesse de l'information	Un seul degré de désagrégation	Possibilités de plusieurs degrés de désagrégation

La décision est une initiative qui accroît la quantité d'informations du système, la décision étant génératrice d'information qui, elles-mêmes entraîneront de nouvelles prises de décisions.

(\*) *Antiequilibrium* J. Kornai

Dans l'organisation décentralisée, les unités de décision peuvent communiquer aux autres niveaux des informations concernant leur fonction d'évaluation et leurs contraintes, ou d'une façon générale, les motivations de leur comportement, ainsi que des appréciations concernant les décisions à prendre par les autres niveaux. De même elles peuvent aussi recevoir des informations sur les comportements des autres niveaux.

Donc si nous considérons une unité A, ses relations avec les autres unités sont de trois types :

- relation de A avec les autres unités de même niveau.  
Les différents transferts d'information sont l'occasion d'un processus d'apprentissage entre unités.
- relation de A avec les unités de niveau supérieur
- relation de A avec les unités de niveau inférieur

Voici comment on peut formaliser ces transferts en utilisant la théorie des équipes de Marchak.

Introduction  $X$ , ensemble de tous les états possibles du système considéré. Par "état du système" nous entendons une configuration quelconque de tous les paramètres dans les fonctions d'évaluation et le domaine des contraintes relatif à chaque unité du système.

Soit  $Y$  l'ensemble des règles de négociation possibles entre unités à un même niveau, par exemple, l'ensemble des modes de répartition possibles des ressources.

L'unité A du niveau  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ) reçoit d'abord les informations concernant les paramètres des unités des autres niveaux et du sien propre. Cette information ne dépend que de l'état du système  $x \in X$  et est notée  $J = \eta(x)$  ;  $\eta$  constitue la *structure ou fonction d'information*, celle-ci traduit l'appauvrissement de l'information au cours de sa transmission, c'est-à-dire la part de connaissance que l'unité A peut recevoir sur l'ensemble de paramètres qu'elle voudrait connaître. Ainsi deux états  $\eta(x_1) = \eta(x_2)$  apporteront la même information à l'unité A.

Toute fonction  $\eta$  définit sur  $x$  une partition constituée des parties de  $x$  dont les éléments donnent la même image par  $\eta$ .  
Formellement :

$$X = \bigcup_{i \in I} X_i, \quad X_i \cap X_j = \emptyset \quad i \neq j$$

et pour tout

$$X_i, x \text{ et } x' \in X_i \Leftrightarrow \eta(x) = \eta(x')$$

On peut classer les structures d'information par une relation d'ordre partiel. Si  $\eta_1$  et  $\eta_2$  sont deux structures d'information  $\eta_1$  est dite meilleure que  $\eta_2$  si la partition  $X = \bigcup_i X_i^1$  engendrée par  $\eta_1$  est plus fine que la partition  $X = \bigcup_j X_j^2$  engendrée par  $\eta_2$ .

L'unité A est tenue au courant des décisions prises par les autres niveaux. A partir de ces décisions elle tente de déduire comment les conflits entre unités aux autres niveaux ont pu se résoudre. Elle se construit donc une structure d'information  $\psi$  sur  $y$ . Finalement, l'information dont dispose chaque unité est résumée par la relation  $Z = \{z = (\eta(x), \psi(y)) / x \in X, y \in Y\}$ .

C'est donc cette information Z qui intervient directement dans la fonction d'évaluation et les contraintes de l'unité.

Ce processus d'échange n'acquiert de signification que dans un cadre dynamique, où ont lieu de nombreuses itérations. En effet à chacune d'entre elles, les niveaux transmettent les informations dont ils disposent. L'intérêt de ces itérations est de permettre aux structures  $\eta$  et  $\psi$  de chaque unité d'améliorer.

Pour les itération  $k$  et  $k + 1$  on aura ainsi

$$\eta_{k+1} \text{ meilleure que } \eta_k \quad (\eta_{k+1} > \eta_k)$$

$$\psi_{k+1} \text{ meilleure que } \psi_k \quad (\psi_{k+1} > \psi_k)$$

Ceci se traduit dans les faits, par une augmentation du nombre des indicateurs  $z$  qui constituent l'ensemble d'informations  $Z$  de l'unité A. Il en découle indirectement un changement de comportement de l'unité A, laquelle, plus consciente des conséquences de chaque décision, affine son modèle de décision au fur et à mesure des itérations.

D'autre part, on peut supposer que l'amélioration permanente des ensembles d'information  $Z_k$  doit permettre l'émergence d'un consensus progressif.

On passe maintenant à un autre point de vue, en présentant la définition, que Johnson, Kast et Rozewzweig ont proposé pour le système.

"un ensemble ordonné de composantes projeté pour accomplir un objectif particulier conformément à un plan."

Cette approche est plus spécifique que celles présentées jusqu'à présent.

Un système est d'abord un ensemble ordonné : en effet si nous admettons qu'il forme un groupe de relations, c'est qu'il existe en son sein un certain ordre remarquons par ailleurs qu'il n'est pas nécessairement composé d'éléments simples, mais aussi de parties, qui sont à leur tour des systèmes ou des agrégats : d'une manière plus large, on les appelle des composantes.

Qui dit objectif sous entend système à but, c'est-à-dire qui satisfait à un état donné, à un temps donné. Deux systèmes ayant deux objectifs différents ne sont pas identiques, et un système qui doit accomplir deux objectifs contraires est du fait un ensemble de deux sous systèmes, *s'ils ne peuvent être englobés dans un objectif d'ordre supérieur, il faudrait même parlé de systèmes conflictuels.*

L'ensemble peut être projeté pour accomplir cette finalité en diverses manières. Mais si pour atteindre un but particulier les responsables de l'Université par exemple, attendent passivement que telles ou telles circonstances soient réunies, il ne s'agit pas d'un système. Il faut que l'ensemble des éléments qui relient l'état actuel à l'état but soit ordonné et explicité. L'activité de planification correspond à cette définition.

### 3.2.2. Définitions mathématiques et physiques du système

Un système est "une construction explicative dont la matière est un ensemble arbitraire et révisable d'éléments de témoignage sensible aboutissant à des rapports entre des qualités choisies des objets" (\*). Ainsi quand on veut analyser une situation, l'on fait des choix arbitraires, qui peuvent être modifiés s'ils ne donnent pas les résultats espérés. Les impressions subjectives sont fondamentales.

Ensuite il donne un certain nombre de définitions de base.

---

(\*) *Théorie des systèmes évolutifs : Vogel*

- . Les objets témoins : sont ceux qui possèdent les qualités sensibles recherchées dans un état. Lorsque nous essayons de qualifier un état, de dire par exemple si un objet est bleu ou rouge nous faisons toujours appel à la comparaison avec un objet-témoin. Sans ces objets témoins, l'on n'arriverait pas à identifier les états ou même à les écrire.
- . Une échelle R : est une suite ordonnée d'objets témoins ou "scalogramme".
- . L'espace de phase E. Soit un système donné de n qualités toute observation est un n triple d'éléments. L'espace des phases est donc bien défini par toutes les combinaisons entre toutes les qualités possibles  $R^n$ .
- . L'affixe : du système est un point de l'espace de phase. C'est un vecteur d'observation isolée qui a n qualités, pris dans une échelle R.
- . Le temps T est la qualité d'un système dont les observations répétées ne donnent jamais le même affixe. Si un système donne toujours le même affixe. Le temps ne joue pas pour lui. Les systèmes dont les affixes ne reviennent pas plusieurs fois s'appellent des gardiens du temps.
- . Evolution : une application de T dans E, où T le temps et E l'espace de phase.
- . L'Université de phase : c'est le produit cartésien  $E \times T$ . C'est le système pris globalement. Il n'a bien entendu ni passé ni avenir (mais le plus souvent on a recours à des systèmes de projection).
- . Un point d'univers : est un affixe observé à un temps t. C'est toute observation qui est assorti d'une date.

Les automaticiens nous ont fourni aussi une série de concepts (en Kalman, Wymore)

L'état du système est la quantité d'informations minimales nécessaire pour en prédire le comportement ; le système en effet a des inputs, qui sont les forces qui agissent sur lui, et des outputs ou sorties qui sont les variables mesurables directement. On ne saurait parler de système si on ne peut pas le mesurer ou le voir. L'état du système est en fin de compte ce qui permet de savoir quelle sera la variable à mesurer à tel temps. Plusieurs lois permettent de prévoir comment évoluera un système :

le principe de causalité qui repose sur l'historique, et le principe de finalité qui tente de découvrir les buts du système.

Un système dépend à la fois des fonctions de transition qui mènent d'un état à un autre, et des fonctions de transfert qui elles mènent des inputs aux états.

Jusqu'ici nous avons des inputs, des outputs, des états que nous connaissions exactement alors que la plupart du temps il n'en est rien et que nous sommes obligés de les exprimer en langage de probabilité. Nous avons ainsi des systèmes dont l'environnement est aléatoire. Il peut aussi exister des systèmes dans lesquels c'est l'espace des états qu'il est aléatoire. Ce sont les systèmes à fonctionnement stochastique.

### 3.2.3. *Définition biologique*

Nous avons défini le système comme comprenant un ensemble qui dit ensemble en sous-tend le complémentaire. Il y a donc une séparation nette entre le système et l'environnement qui peut être symbolisée par une membrane. Ce peut être un élément physique (des murs) ou quelque chose de plus subtil (la liste du personnel). Il faut qu'il y ait en plus une unité de finalité, les systèmes ont toute une hiérarchie des buts qui finissent par un seul objectif au sommet. En fait l'on n'a jamais un but unique mais un ensemble complexe plus ou moins formalisé d'objectifs qui sont reliés d'une façon plus ou moins précise, selon des méthodes de pondération variables mais telles que leur dosage est stable. C'est le noyau de la cellule. On peut donc le définir comme un sous-système comprenant un ensemble de relations de finalités. Lorsqu'une seule des relations ou des composantes est modifiée le système change d'individualité, il est muté ; il en va de même lorsqu'il acquiert une notion de finalité qui lui faisait défaut à l'origine. A la limite, quand le noyau a changé complètement de manière transitive, le deuxième système n'a plus rien de commun avec le premier. Il ne mourra pas pour autant et il ne sera pas dégénéré, mais il sera différent.

Le noyau permet d'individualiser le système. Malheureusement il n'a jamais été bien défini dans l'Université. Le noyau peut d'ailleurs avoir des finalités contradictoires, auquel cas les conflits se trouvent au sommet.

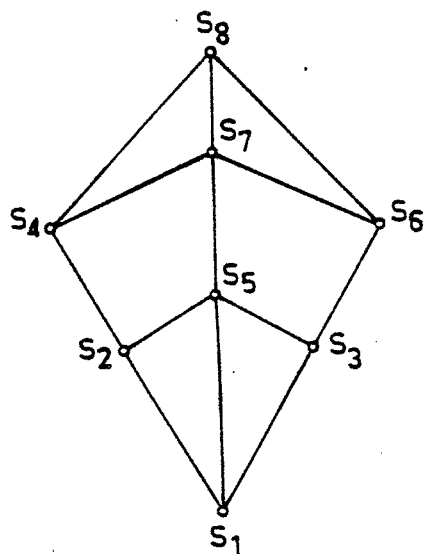
Nous pensons que ceci constitue le problème numéro un de l'Université aujourd'hui : la recherche d'un nouvel équilibre pour le "noyau". Une finalité est dotée d'une certaine permanence et elle peut se définir indépendamment des activités nécessaires pour la remplir. Sa traduction à des objectifs opérationnels se fait par l'intermédiaire du "modèle-propre" des universitaires et ceci entraîne des distorsions. D'ailleurs les efforts des universitaires "pour changer" n'ont pas manqués. Diversification des filières de formation, l'évolution des méthodes pédagogiques, de modalités de contrôle de connaissances, l'implantation des activités de formation continue, sont des signes du visage négocié par les universités. Or tous ces efforts ont été appuyés par des "modèles-propres" dont les racines se trouvaient au passé, et des structures qui ne sont pas appropriées.

Et pour revenir à notre cellule, il faut aussi que le corps vive, que le noyau soit supporté, un certain nombre d'organes cherchent des ressources dans l'environnement. Le noyau n'est pas coupé de l'environnement ; il doit communiquer par un réseau d'informations qui permet de savoir où il se trouve, comment il se place par rapport à lui. Il émet ses finalités à l'intérieur et à l'extérieur du système. Evidemment il ne suffit pas pour le noyau de constater les fluctuations de l'environnement, il faut encore qu'il puisse faire face pour continuer à subsister. En effet lorsqu'un système se trouve dans un univers mouvant et qu'il veut maintenir une certaine permanence, il doit changer et absorber l'incertitude de l'environnement. Il le fait grâce aux masses de manoeuvre qui sont générales ou spécifiques. Elles maintiennent la permanence du noyau grâce à des cellules. Celles-ci sont des unités à buts permettant de comparer les objectifs, de recevoir les finalités agrégées et les informations sur l'environnement. Des "analyseurs" confrontent les informations reçues avec des programmes opérationnels de telle sorte que le noyau soit préservé et puisse agir et maintenir les objectifs. Pour que la régulation soit efficace et que le noyau puisse l'apprécier, il faut que les possibilités de manoeuvre soient suffisantes pour maîtriser les fluctuations, et que qualitativement elles soient adaptées à l'action. La régulation a une grande importance. Il faut en effet, que les canaux d'informations soient suffisants (principe de variété requise). Si des distorsions apparaissent



sent dans ces derniers ou si le traitement de l'information est insuffisant, le système ne pourra pas répondre et assurer la stabilité du noyau. Il s'ensuit que les buts sont complexes, plus l'on veut que le réglage soit affiné, plus l'incertitude est grande, plus le système cybernétique doit être important.

Un système est une création artificielle. Il résulte en effet d'un choix de l'univers, des éléments et de la caractéristique, c'est-à-dire des relations. Si l'on admet que les éléments peuvent être constitués aussi bien par les services, les hommes, les tâches et les relations que par les unités d'enseignement, l'Université dans cette perspective ne forme pas un système, mais plusieurs systèmes emboîtés les uns dans les autres. On peut alors être tenté d'établir un graphe de ces sous-systèmes ou mieux de cette hiérarchie de sous-systèmes qui composent le système global, en commençant par la partie la plus grossière. Le graphe indiquera les différents niveaux de résolution.



Points de vue subjectif, selon les observateurs.

#### Graphes de résolution

Le niveau  $S_8$  ne pose aucun problème de choix car il est complètement agrégé. Le président de l'Université en connaîtra globalement les principaux éléments, budget, répartition des ressources, filières de formation, ratio. étudiants-enseignants... Ce sont ces indications qui intéressent le sur-système, et par conséquent le conseil et le ministère.

Les difficultés apparaissent lorsqu'on essaie de faire une partition de l'Université, en descendant au niveau  $S_7$ , fermé par exemple des U.E.R. comme autres "autonomes", il faut savoir par exemple, où et

comment imputer les frais généraux. C'est une nouvelle division  $S_6$  qui répondra à ces questions : elle comprend les grands ordres de dépense, les lignes du budget de l'ensemble de l'Université. Les nécessités du plan comptable peuvent obliger l'Université à faire une partition de ses dépenses, de ses résultats au niveau  $S_5$  qui sera celui de la direction des U.E.R. par exemple.

Il est évident que les différentes partitions ne correspondent pas entre elles et que les classe induites par elles ne sont pas identiques. On obtient ainsi des points de vue subjectifs et arbitraires, l'arbitraire venant des critères, comptable, humain ou fonctionnel qui induit la partition.

Le graphe pourrait se prolonger en  $S_0$ , où l'étude se fait opération par opération.  $S_0$  est constitué par la liste de toutes les opérations qui s'y effectuent, c'est-à-dire les plus petites transitions entre un état initial et un état final. Mais il se peut que l'opération soit trop fine pour la plupart des études. Le niveau de résolution devra alors se situer au plan de l'homme ou du groupe. Il est possible de regrouper les opérations de  $S_0$  en activités homogènes, en rôles, en tâches, en postes et en fonctions. Et c'est là qu'interviennent les critères différents de regroupement.

C'est à partir de ce niveau de résolution que commencent les analyses informatiques traditionnelles, en définissant des chaînes qui ont l'ambition de traverser toutes les activités de l'Université. Résultat, les informations ne sont pas décodées, parfois même pas perçues par les autres niveaux de résolution, pour eux c'est du bruit, alors que l'agrégation de ces informations dans le code du niveau  $S_1$  est insignifiante. C'est le piège dans lequel tombent souvent les modèles de gestion basée sur l'informatique, en cherchant la standardisation.

Les informations uniformisées ne sont envisageables que dans un système autoritaire où des automatismes de pensée sont créés suivant une grille considérée comme universelle et définitive.

Le problème qui se pose dans l'Université est donc à la fois qualitatif et quantitatif ; il concerne le choix du point de vue et celui du niveau de résolution.

Les différentes définitions que nous avons étudiées proposaient une conception "organiciste" des systèmes. Nous avons en

effet l'image d'une cellule dotée d'un noyau, d'une membrane, d'organes différenciés de perception et d'action, d'organes logistiques, mais aussi d'un système cybernétique d'information et de régulation destiné à coordonner le tout. Nous avons envisagé des conceptions plus mathématiques qui différencient les systèmes à un seul niveau et ceux à plusieurs niveaux ou organisations. En couplant ces deux définitions nous obtenons une conception pluricellulaire des systèmes et verrions très bien par exemple une cellule se dédoubler, se multiplier, voire se différencier jusqu'au moment où naîtrait une autre cellule plus élevée qui régirait la première.

3.2.4. Les définitions que l'on a présentées ont comme dénominateur commun, la liaison entre le caractère global et le trait relationnel. Un système est un tout qui prend forme en même temps que ses éléments se transforment. "La diversité de ses éléments est nécessaire à leur unité, et leur unité est nécessaire à leur diversité".

Les éléments du système à travers leurs interrelations s'organisent par niveaux, il se pourrait d'ailleurs que la notion de niveau comporte une critique interne du concept du système. La notion de niveau nous paraît essentiel dans la détermination de la procédure d'analyse, elle peut faire justice à la nature articulée du système.

Enfin pour finir et focaliser notre propos, on propose une dernière définition du système :

Un système est une entité complexe traitée (en égard à certaines finalités) comme une totalité organisée, formée d'éléments et des relations entre ceux-ci, les uns et les autres étant différenciés et définis en fonction de la place qu'ils occupent dans cette totalité et cela de telle sorte que son identité soit maintenue face à certaines évolutions (B. Roy).

Ainsi au cours d'une recherche on peut s'octroyer une série de conventions définissant tel ou tel système ; déterminer les conditions de l'existence de ce système, son identité et son identification, les entrées et les sorties, les modifications qu'il peut subir sans perdre son identité... et celles qui le transforment en un autre système.

En conclusion, un système correctement défini devient un instrument méthodologique. Et c'est dans cette perspective que nous l'avons utilisé dans notre étude sur l'Université.

En se basant sur les définitions des systèmes mathématiques et physiques, nous avons construit un ensemble de modèles qui doivent permettre de connaître et d'analyser les besoins que les responsables de l'Université doivent satisfaire : méthode bayésienne de prévision, Dynamique des Systèmes, Chaîne de Markov, sont les outils nous ayant permis d'obtenir de façon opérationnelle, les données de base pour la gestion prévisionnelle de l'Université.

Les notions des systèmes cybernétiques permettent d'aller au-delà et de mieux cerner le fonctionnement et les prises de décisions dans l'Université. C'est en ayant à l'idée leurs caractéristiques, que nous avons choisi un modèle de planification, tenant compte de plusieurs périodes de planification en supposant un dialogue entre "le centre" : l'organe central de l'Université, et les "secteurs" : U E R.

La vision des systèmes biologiques est restée de façon permanente à notre mémoire : le choix des modèles et leurs enchaînements permettent leur évolution et leur adaptation modulaire à des problèmes spécifiques et ils peuvent fournir des réponses particulières sur des points précis de gestion.



## 2E PARTIE



## CHAPITRE 4

### UN MODELE DE PREVISION





Le premier modèle que l'on va présenter, c'est un modèle de prévision de l'effectif étudiant.

En effet un facteur très important pour la planification dans l'Université est le nombre d'étudiants inscrits à chaque niveau d'études. Le nombre détermine directement ou indirectement le nombre d'enseignants, et l'effectif du personnel administratif.

Comme le système éducatif, en général, est profondément influencé par des facteurs sociaux, économiques, de nature non déterministe, on est en droit de penser que des méthodes déterministes ne sont pas très réalistes pour la prévision du nombre d'étudiants.

Par exemple ce n'est pas possible de dire exactement, combien d'étudiants vont redoubler en une année dans un certificat, même si on suppose que les paramètres du modèle ne sont pas modifiés.

A priori, il paraît plus satisfaisant de développer une méthode de prévision probabiliste.

#### *4.1. A la recherche d'une méthode de prévision*

Les modèles existants de prévision peuvent être classés dans deux catégories.

1. Les modèles fixes, dont les paramètres et les variances sont fixées
2. Des modèles fixes avec des paramètres et variances variables.

Les modèles de la première catégorie demandent que la moyenne et la variance soient stationnaires. Pour cette raison d'ailleurs on essaie de rendre les données stationnaires :

- . pour la moyenne, en considérant des différences successives
- . pour la variance en appliquant des transformations appropriées : logarithme, racine carrée, etc...

Sinon les résultats statistiques ne sont pas significatifs. La théorie classique d'estimation n'a pas pu se débarrasser de l'hypothèse de stationnarité, et ceci pose de nombreux problèmes pour les applications pratiques.

Par exemple quand la forme des données ("pattern") change, changement de pas, ou de tendance ou quand on a des situations transitoires, la théorie classique va traiter ces changements comme des effets aléatoires. Si les changements persistent, un nouveau modèle de prévision doit être spécifié, qui s'accorde avec les nouvelles conditions.

Le lissage exponentiel du type adaptatif, et le filtrage adaptatif peuvent faire face aux changements de pas et à des situations transitoires, puisqu'ils peuvent faire une mise à jour des paramètres. Ils peuvent aussi tenir compte des changements de tendance.

Mais ces deux méthodes ne font pas aussi bien que le filtre de Kalman, qui peut tenir compte des modèles variables où les paramètres et les variances varient simultanément. La difficulté avec le filtre de Kalman est que beaucoup de questions techniques n'ont pas reçu encore de réponses satisfaisantes. Et en plus il y a des difficultés pratiques pour les estimations initiales des paramètres, variances et covariances et les matrices de transition.

Le filtre Kalman consiste à combiner deux estimations indépendantes pour obtenir une estimation comme combinaison pondérée de deux précédentes. Une estimation peut être une prédiction a priori, et l'autre une prédiction basée sur une nouvelle information. Pour cette raison d'ailleurs, on parle souvent de méthode Bayésienne pour parler du filtre Kalman.

#### *4.2. Principe du filtre de Kalman discret*

Considérons d'abord le cas d'une variable scalaire.

Soit un système décrit par l'équation :

$$(1) \quad x(k) = x(k-1) + w(k-1)$$

où  $x(k)$  est la variable d'état

$w(k)$  est un bruit blanc de moyenne 0 et de variance  $\sigma_w^2(k)$

Le système est observé par une variable  $z(k)$ , où

$$(2) \quad z(k) = x(k) + v(k)$$

où  $v(k)$  un bruit blanc de moyenne zéro et de variance  $\sigma_v^2(k)$

(bruit non corrélé).

Le problème de l'estimation de l'état  $x(k)$  est formulé de la façon suivante : étant donné une estimation "a priori"  $\hat{x}(k/k-1)$  ; on cherche une estimation "a postérieure"  $\hat{x}(k/k)$  basée sur l'observation  $z(k)$ .

On suppose que cette estimation est de la forme

$$(3) \quad \hat{x}(k/k) = K'_k \hat{x}(k/k-1) + K_k z(k)$$

où  $K'_k$  et  $K_k$  sont des paramètres qui dépendent du temps qu'il faudra préciser.

Définissons les "erreurs d'estimation" :

$$(4) \quad \begin{aligned} \tilde{x}(k/k) &= \hat{x}(k/k) - x(k) \\ \tilde{x}(k/k-1) &= \hat{x}(k/k-1) - x(k) \end{aligned}$$

A partir de ces relations on peut obtenir l'expression suivante pour  $\tilde{x}(k/k)$  :

$$\begin{aligned} \tilde{x}(k/k) &= \hat{x}(k/k) - x(k) \\ &= K'_k \hat{x}(k/k-1) + K_k (x(k) + v(k)) - x(k) \\ &= K'_k \hat{x}(k/k-1) + K_k x(k) + K_k v(k) - x(k) \\ &= K'_k (x(k) + \tilde{x}(k/k-1)) + K_k x(k) - x(k) + K_k v(k) \\ &= K'_k x(k) + K'_k \tilde{x}(k/k-1) + K_k x(k) - x(k) + K_k v(k) \end{aligned}$$

donc

$$(5) \quad \tilde{x}(k/k) = (K'_k + K_k - 1) x(k) + K'_k \tilde{x}(k/k-1) + K_k v(k)$$

Par définition  $E[V_k] = 0$ . Si  $E[\tilde{x}(k/k-1)] = 0$ , alors l'estimateur sera sans biais (c'est à dire  $E[\tilde{x}(k/k)] = 0$ , si  $\forall x(k)$ ).

$$K'_k + K_k - 1 = 0, \text{ donc}$$

$$(6) \quad K'_k = 1 - K_k$$

Ainsi l'estimation peut s'écrire

$$(7) \quad \hat{x}(k/k) = (1 - K_k) \hat{x}(k/k-1) + K_k z(k)$$

Et l'erreur d'estimation.

$$(8) \quad \tilde{x}(k/k) = (1 - K_k) \tilde{x}(k/k-1) + K_k v(k)$$

Pour choisir une valeur optimale pour  $K_k$  on choisit comme critère de minimiser la variance de  $\tilde{x}(k/k)$ .

Cette variance est

$$(9) \quad \sigma_{\tilde{x}}^2(k/k) = (1 - K_k)^2 \sigma_{\tilde{x}}^2(k/k-1) + K_k^2 \sigma_v^2(k)$$

En prenant la dérivée et en la mettant égale à zéro, on obtient :

$$(10) \quad K_k = \frac{\sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1)}{\sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1) + \sigma_v^2 (k)}$$

ainsi :

$$(11) \quad \hat{x} (k/k) = \frac{\sigma_v^2 (k)}{\sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1) + \sigma_v^2 (k)} \hat{x} (k/k - 1) + \frac{\sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1)}{\sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1) + \sigma_v^2 (k)} z (k)$$

et la mise à jour de la variance de l'erreur :

$$(12) \quad \sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k) = (1 - K) \sigma_{\tilde{x}}^2 (k/k - 1)$$

*Données multivariées.* Le filtre de Kalman dans ce cas est analogue, avec celui qui concerne une variable scalaire, le système est décrit par :

$$(1) \quad x (k) = \Phi_k - 1 x (k - 1) + w (k - 1)$$

$x (k)$  vecteur état

$w (k)$  bruit blanc de moyenne zéro, et la matrice des covariances  $Q_k$ .

les observations :

$$(2) \quad z (k) = H_k x (k) + v (k)$$

$v (k)$  vecteur aléatoire, de moyenne zéro et de covariance  $R_k$

On cherche une estimation qui a la forme

$$(3) \quad \hat{x} (k/k) = K'_k \hat{x} (k/k - 1) + K_k z (k)$$

où  $K'_k$ ,  $K_k$  sont des matrices qui dépendent du temps

En définissant les erreurs de l'estimation comme précédemment :

$$(4) \quad \begin{aligned} \tilde{x} (k/k) &= \hat{x} (k/k) - x (k) \\ \tilde{x} (k/k - 1) &= \hat{x} (k/k - 1) - x (k) \end{aligned}$$

On peut obtenir l'expression suivant pour  $\tilde{x}(k/k)$

$$(5) \quad \tilde{x}(k/k) = [K'_k + K_k H_k - I] x(k) + K'_k \tilde{x}(k/k - 1) + K_k v(k)$$

pour que l'estimateur soit sans biais il faut

$$(6) \quad K'_k = I - K_k H_k$$

Et on a pour l'estimation :

$$(7) \quad \hat{x}(k/k) = (I - K_k H_k) \hat{x}(k/k - 1) + K_k z_k$$

ou

$$(7') \quad \hat{x}(k/k) = \hat{x}(k/k - 1) + K_k [z_k - H_k \hat{x}(k/k - 1)]$$

l'erreur de l'estimation est :

$$(8) \quad \tilde{x}(k/k) = (I - K_k H_k) \tilde{x}(k/k - 1) + K_k v(k)$$

*Matrice de covariance de  $\tilde{x}(k/k)$ .* En utilisant la relation (8) la covariance de  $\tilde{x}(k/k)$  :  $P(k/k) = E[\tilde{x}(k/k) \tilde{x}^T(k/k)]$

Si on note  $P(k/k - 1) = E\{\tilde{x}(k/k - 1) \tilde{x}^T(k/k - 1)\}$ , et dans le cas où les bruits sont gaussiens, on a :

$$(9) \quad P(k/k) = (I - K_k H_k) P(k/k - 1) (I - K_k H_k)^T + K_k R_k K_k^T$$

*Choix optimal de  $K_k$ .* Le critère utilisé est la minimisation de la somme des éléments de la diagonale de la matrice des covariances.

$$\text{i.e.} \quad J_k = \text{trace}[P(k/k)]$$

En prenant la dérivée de  $J_k$  par rapport à  $K_k$  on obtient la valeur optimale pour  $K_k$  :

$$(10) \quad K_k = P(k/k - 1) H_k^T [H_k P(k/k - 1) H_k^T + R_k]^{-1}$$

("matrice de gain de Kalman")

Un examen de la matrice de Hesse de  $J_k$  indique que cette valeur de  $K_k$  minimise  $J_k$ .

Et on peut obtenir l'équation pour la mise à jour de la matrice des covariances :

$$(11) \quad P(k/k) = [I - K_k H_k] P(k/k - 1)$$

Après cette rapide illustration de grands principes du filtre de Kalman. On va présenter un algorithme de prévision basé sur la méthode Bayésienne, et le principe de base est un résultat dû à Kalman.

Avant de commencer la description de l'algorithme en question on va présenter une autre méthode proposée par Sinha et Singh (Int. J. SYSTEMS SCI. 1973, vol 4, n° 4, 501-509), et on va comparer les résultats qu'ils trouvent avec les résultats que l'on peut obtenir en utilisant l'algorithme.

#### 4.3. Un modèle stochastique (Sinha et Singh)

On utilise la notation des auteurs.

Le comportement dynamique du système peut être décrit par l'équation :

$$S(k+1) = F(k+1, k) S(k) + G(k+1, k) n_S(k+1) \quad (1)$$

$k = 1, 2, \dots$  années académiques

$S(k)$  n-vecteur qui représente la population étudiante réparti parmi n catégories différentes pendant l'année académique k

$n_S(k)$  n-vecteur qui représente les nouvelles inscriptions

$F(k+1, k)$  n x n-matrice de transition

$G(k+1, k)$  n x n-matrice input

La matrice de transition  $F(k+1, k)$  est donnée par

$$F(k+1, k) = [f_{ij}(k+1, k)], \quad i = 1, \dots, n \\ j = 1, \dots, n$$

où  $f_{ij}(k+1, k)$  est la proportion d'étudiants qui se trouvent à l'état j pendant la période k et qui passent à l'année i au début de la période k+1

On a évidemment  $f_{ij}(k+1, k) = 0$  pour  $j > i$  (2)

$f_{ij}(k+1, k)$  proportion d'échecs.

Les auteurs font remarquer que ces paramètres sont en général aléatoires et non stationnaires, et ils les caractérisent par l'équation stochastique :

$$f_{ij}(k+1, k) = \alpha_{ij} f_{ij}(k, k-1) + \eta_{ij}(k), \quad j \leq i \quad (3)$$

où  $\alpha_{ij}$  est une constante et  $\eta_{ij}(k)$  un bruit blanc de moyenne et covariance constante.

Comme les nouvelles admissions dans une année n'affectent pas la population d'une autre année, la matrice input  $G(k+1, k)$  est diagonale, et en fait c'est la matrice identité.

Le nombre d'étudiants qui quittent l'université est une fonction linéaire de la population étudiante plus un bruit. Ainsi la relation qui caractérise l'output est :

$$y(k) = H_S(k) S(k) + v(k) \quad (4)$$

$y(k)$  n-vecteur, le nombre d'étudiants qui partent

$H_S(k)$  n x n-matrice output.

$v(k)$  bruit blanc (dimension n) dont la moyenne et la variance sont constantes.

Les équations (1) à (4) constituent le modèle de processus.

*Identification des paramètres.* Le modèle contient plusieurs paramètres stationnaires et non-stationnaires, que l'on va examiner un par un :

*Les constantes  $\alpha_{ij}$  :*

Elles peuvent être évaluées par la relation

$$\alpha_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N f_{ij}(k+1, k)}{\sum_{k=1}^N f_{ij}(k, k-1)} \quad (6)$$

où les  $f_{ij}$  sont obtenues à partir des données disponibles pour N années ou N est grand.

*La moyenne et la covariance du bruit  $\eta_{ij}$  :*

De la relation (3), on peut écrire :

$\eta_{ij}(k) = f_{ij}(k+1, k) - \alpha_{ij} f_{ij}(k, k-1)$  pour  
en utilisant les données disponibles pour  $f_{ij}$ , et la valeur de  $\alpha_{ij}$  évaluée ci-dessus

pour  $k = 1, \dots, N$ , le bruit  $\eta_{ij}(k)$  est obtenu

$$\text{la moyenne } \bar{\eta}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \eta_{ij}(k) \quad (6)$$

et la covariance :

$$q_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \eta_{ij}^2(k) \quad (7)$$

*la matrice  $H_S$  :*

Elle est diagonale  $H = [h_{ij}] \quad i = 1, \dots, n$

ou  $h_{ii} = h_i, h_{ij} = 0$  si  $i \neq j$

$$\text{les éléments } h_i = \frac{\sum_{k=1}^N y_i(k)}{\sum_{k=1}^N S_i(k)}, \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$y_i(k)$  et  $S_i(k)$  sont connus pour  $k = 1, 2, \dots, N$



la moyenne et la covariance du bruit  $v(k)$  :

$$(4) \Rightarrow v_i(k) = y_i(k) - h_i - S_i(k), i = 1, \dots, n$$

et la moyenne

$$\bar{v}_i(k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_i(k), i = 1, 2, \dots, n$$

Comme  $v_i$  est un bruit blanc la matrice des covariance  $R$  est une matrice diagonale

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N v_i^2(k), i = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Les paramètres de transition

Les auteurs les estiment à l'aide de la technique du filtre Kalman  
Soit  $f(k) = (f_{11}(k), f_{21}(k), f_{22}(k), f_{31}(k) \dots f_{nn}(k))^T$   
un vecteur de dimension  $n(n+1)/2$  contenant tous les termes  $f_{ij}$  t.q.  $f \leq i$ .

L'équation 3 peut être évitée :

$$f(k+1, k) = \alpha f(k, k-1) + \eta(k) \quad (12)$$

où  $\alpha$  est le  $n(n+1)/2$  vecteur qui contient les éléments  $\alpha_{ij}$   
et  $\eta(k)$  est le vecteur bruit d'ordre  $n(n+1)/2$  qui contient les éléments  $\eta_{ij}(k)$ .

La moyenne du vecteur  $\eta(k)$  est  $\bar{\eta}(k) = (\bar{\eta}_{ij}(k))$  et  $Q_1$  est la matrice des covariances.

En tenant compte des équations (1) et (12) on peut obtenir

$$x(k+1) = f(x(k)) + B(k+1)u(k+1) + w(k)$$

où  $x^T(k) = (S^T(k) : f^T(k))$  (vecteur d'ordre  $n + n(n+1)/2$ )  
et  $f(x(k))$  est  $n + n(n+1)/2$  vecteur donné par la relation

$$f^T(x(k)) = [F(k+1, k) S(k)]^T : [\alpha f(k)]^T$$

notons que  $f(x(k))$  n'est pas linéaire.

$$B(k+1) = \begin{bmatrix} G(k+1) & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ la matrice input}$$

$$U^T(k+1) = (n_S^T(k+1) : 0) \text{ vecteur input}$$

$$W^T(k) = (0 : \eta^T(k)) \text{ vecteur-bruit de moyenne}$$

$$\bar{w}(k) = (0 : \bar{\eta}^T(k)) \text{ et de covariance}$$

$$Q(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & Q_1(k) \end{bmatrix}$$

l'équation de l'output devient :

$$y(k) = H(k) x(k) + v(k) \quad (14)$$

$$\text{où } H(k) = [H_S(k) \mid 0]$$

Estimer les états et les paramètres en utilisant les équations (13) et (14) est un problème de filtrage non linéaire. Les auteurs appliquent le filtre généralisé de Kalman, en linéarisant la fonction  $f(x(k))$

On a présenté ce modèle (finalement assez compliqué) puisque les deux auteurs sont les seuls, à notre connaissance, qui envisagent le problème de l'étude du flux étudiant, du point de vue stochastique.

Ils l'ont appliqué à une population étudiante d'une école sur une période de 38 années. (Voir Tableau)

#### 4.4. Présentation du modèle proposé

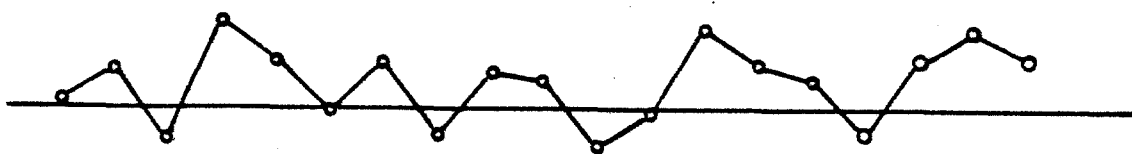
L'algorithme est celui présenté par Harrison - Stevers (\*)

Il s'agit de prévoir les valeurs futures d'une variable discrète dont on connaît les variables passées. Il a l'avantage de pouvoir "reconnaître" et répondre d'une manière appropriée à des états transitoires et à des changements soudains de tendance et de pente.

On peut caractériser chaque instant par la valeur de la variable qui y est observée, la pente de la courbe décrite par ces valeurs, et par la tendance générale d'évolution sous la forme d'un coefficient variable.

On considère que les valeurs prises par la variable sont générées par un processus pouvant se trouver dans quatre états auxquels on peut donner les noms génériques suivants :

Etat 1 : pas de changement



(\*) A bayesian Approach to short term forecasting operational Research quarterly  
Vol 22, N° 4

## DONNEES :

86	89	94	96	103	114	117	124	109	149	158	171	197	256	311	373
	451	527	656	609	549	577	656	684	659	654	633	686	785	789	

PROBABILITE DE DEPART: .5 .1 .3 .1

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

CHOI2 : POIDS DU PASSE

CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI3

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.500 0.100 0.300 0.100

PREVISION 1 : 810.65

## VALEURS DE QUELLE METHODE ,L/F : F

\*\*\*\*\*

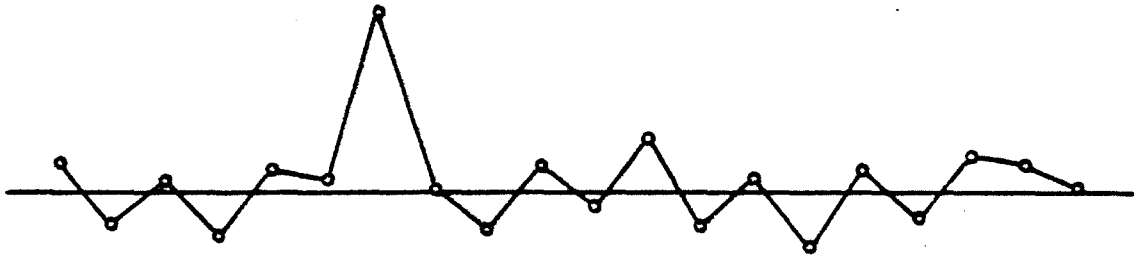
\* DONNEES \*PREVISIONS\*PREVISIONS 'SINHA - SINGH'\*

\*\*\*\*\*

*	86.0	*	86.0	*	80
*	89.0	*	86.0	*	79
*	94.0	*	88.4	*	91
*	96.0	*	94.3	*	105
*	103.0	*	98.3	*	126
*	114.0	*	105.7	*	146
*	117.0	*	117.8	*	156
*	124.0	*	123.8	*	137
*	109.0	*	130.5	*	154
*	149.0	*	116.9	*	156
*	158.0	*	147.7	*	180
*	171.0	*	167.5	*	217
*	197.0	*	183.8	*	253
*	256.0	*	210.5	*	285
*	311.0	*	271.0	*	352
*	373.0	*	341.0	*	354
*	451.0	*	416.2	*	362
*	527.0	*	504.8	*	550
*	656.0	*	592.0	*	587
*	609.0	*	721.1	*	703
*	549.0	*	744.7	*	763
*	577.0	*	696.2	*	654
*	656.0	*	653.6	*	589
*	684.0	*	722.1	*	624
*	659.0	*	743.0	*	739
*	654.0	*	718.0	*	750
*	633.0	*	673.3	*	735
*	686.0	*	637.1	*	732
*	785.0	*	686.7	*	713
*	789.0	*	761.9	*	877
*	810.6	*	810.6	*	*****
*	835.4	*	835.4	*	

\*\*\*\*\*

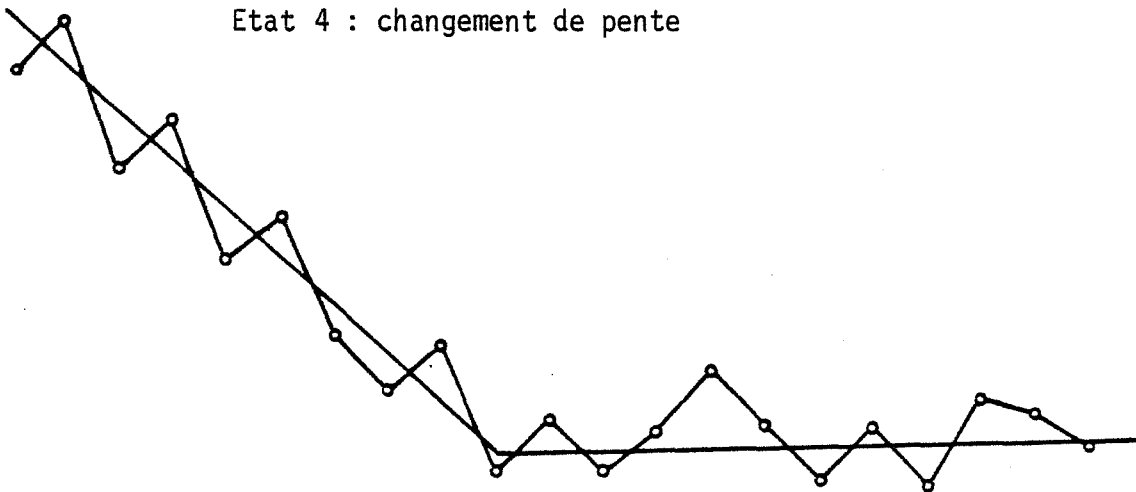
Etat 2 : réponse transitoire



Etat 3 : changement de pas



Etat 4 : changement de pente



Ces quatre états correspondent à des considérations d'ordre graphique sur la courbe décrite par la variable observée.

*Modèle de base*

$d_t$  sont les valeurs que prend le processus aux instants  $t$ ...

$\mu_t$  la valeur de tendance

$\beta_t$  la valeur de la pente

Alors on écrit :

$$\begin{aligned}
 d_t &= \mu_t + \varepsilon_t \\
 \mu_t &= \mu_{t-1} + \beta_t + \gamma_t \\
 \beta_t &= \beta_{t-1} + \delta_t
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

où  $\varepsilon_t$  bruit dû à l'observation  $\varepsilon_t \sim N(0; v_\varepsilon)$   
 $\gamma_t$  perturbation de la tendance  $\gamma_t \sim N(0; v_\gamma)$   
 $\delta_t$  perturbation de la pente  $\delta_t \sim N(0; v_\delta)$

Les composantes aléatoires  $\varepsilon$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , sont indépendantes des lois gaussiennes, de moyenne 0 et des variances connues  $v_\varepsilon$ ,  $v_\gamma$ ,  $v_\delta$ .

En se référant au modèle de base on remarque que le processus est caractérisé : par le bruit  $\varepsilon_t$  qui affecte seulement l'observation actuelle (c'est à dire il n'a pas d'effet sur les futures valeurs de  $\mu$  et  $\beta$ , et les termes  $\gamma_t$  et  $\delta_t$  qui sont incorporés à l'évolution future du processus.

Par exemple, une valeur très grande de  $\gamma_t$  va provoquer un changement de pas permanent, et une grande valeur de  $\varepsilon_t$  va faire apparaître un état transitoire, sans autre effet sur l'évolution du modèle.

Nous supposons qu'il y a un nombre de distribution de probabilités qui peuvent engendrer les valeurs de  $\varepsilon_t$ ,  $\gamma_t$ ,  $\delta_t$  à chaque observation.

Si le système se trouve à l'état  $j$ ,  $j = 1, 2, 3, 4$  au moment  $t$  les composantes aléatoires  $\varepsilon_t$ ,  $\gamma_t$ ,  $\delta_t$  sont engendrées par

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &\sim N(0; v_\varepsilon^{(j)}) \\
 \gamma_t &\sim N(0; v_\gamma^{(j)}) \\
 \delta_t &\sim N(0; v_\delta^{(j)})
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Et si  $\pi_j$  = probabilité de l'état  $j$ ;  $j = 1, 2, 3, 4$  les paramètres du système sont :  $(\pi_j, v_\varepsilon^{(j)}, v_\gamma^{(j)}, v_\delta^{(j)}, j = 1, \dots, 4)$

### *L'approche Bayésienne*

Les valeurs de  $\mu_t$  et  $\beta_t$  ne pourront jamais être connues (mis à part le trival  $v_\varepsilon = v_\gamma = v_\delta = 0$ ). Le fait que l'on pourra disposer d'un très grand nombre d'observation n'est pas d'une grande utilité, puisque  $\mu_t$ ,  $\beta_t$  sont assujétis à des perturbations continues.

Ainsi on décrit la "connaissance" que l'on a de  $\mu_t$  et  $\beta$  en termes de probabilité.

### *Notation*

$$\begin{aligned}
m &= E(\mu) \\
b &= E(\beta) \\
v_{\mu\mu} &= E(\mu - m)^2 \\
v_{\mu\beta} &= E(\mu - m)(\beta - b) \\
v_{\beta\beta} &= E(\beta - b)^2
\end{aligned} \tag{3}$$

Quand il sera nécessaire de mentionner l'ensemble des moments on écrira  $\phi$  où

$$\begin{aligned}
\phi &= \{m, b, v_{\mu\mu}, v_{\mu\beta}, v_{\beta\beta}\} \\
\phi^j &: \triangleq \{m^j, b^j, v_{\mu\mu}^j, v_{\mu\beta}^j, v_{\beta\beta}^j\}
\end{aligned} \tag{4}$$

Pour indiquer qu'un couple de variables aléatoires  $(\mu, \beta)$  suit une loi bi-normale de paramètres  $\phi$ , on écrit :

$$(\mu, \beta) \sim N(\phi) \tag{5}$$

Et quand on souhaite indiquer que le couple  $(\mu, \beta)$  est un mélange de variables bi-normales avec probabilités  $\alpha^{(i)}$  et paramètres  $\phi^{(i)}$   
 $i = 1, 2, \dots, m$

on écrit :

$$(\mu, \beta) \sim \sum_{i=1}^m \alpha^{(i)} N(\phi^{(i)}) \tag{6}$$

#### *Remarque*

Chaque fois qu'on parle de la distribution de  $(\mu_t, \beta_t)$  on doit comprendre qu'il s'agit de la probabilité a postérieur par rapport à l'observation  $d_t$  c'est à dire :

$$(\mu_t, \beta_t) \triangleq (\mu_t, \beta_t/d_t) \tag{7}$$

#### *le résultat de base*

Si le processus qui engendre les valeurs est du type (1) c'est à dire :

$$\begin{aligned}
d_t &= \mu_t + \varepsilon_t & (\varepsilon_t &\sim N(0, v_\varepsilon)) \\
\mu_t &= \mu_{t-1} + \beta_t + \gamma_t & (\gamma_t &\sim N(0, v_\gamma)) \\
\beta_t &= \beta_{t-1} + \delta_t & (\delta_t &\sim N(0, v_\delta))
\end{aligned}$$

Et si la distribution de  $(\mu, \beta)$  au moment  $t-1$  est bi-normale :

$$(\mu_{t-1}, \beta_{t-1}/d_{t-1}) \sim N(\phi_{t-1})$$

où d'après (4)

$$\phi_{t-1} = \{m_{t-1}, b_{t-1} \dots v_{\beta\beta, t-1}\}$$

Alors la distribution à postériori au moment  $t$  est aussi bi-normale :

$$(\mu_t, \beta_t/d_t) \sim N(\phi_t)$$

où les composantes de  $\phi_t$  sont calculées

Posons  $e_t$  l'erreur de l'estimation :

$$e_t = d_t - (m_{t-1} + b_{t-1}) \quad (9)$$

et

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{12} & r_{22} \end{pmatrix} \quad (10)$$

où

$$\begin{aligned} r_{11} &= v_{\mu\mu, t-1} + 2 v_{\mu\beta, t-1} + v_{\gamma} + v_{\delta} \\ r_{12} &= v_{\mu\beta, t-1} + v_{\beta\beta, t-1} + v_{\delta} \\ r_{22} &= v_{\beta\beta, t-1} + v_{\delta} \end{aligned} \quad (11)$$

Posons aussi

$$\begin{aligned} v_e &= r_{11} + v_{\epsilon} \\ A_1 &= r_{11}/v_e \\ A_2 &= r_{12}/v_e \end{aligned} \quad (12)$$

Alors la probabilité à postériori au moment  $t$  est donnée par :

$$\begin{aligned} m_t &= m_{t-1} + b_{t-1} + A_1 e_t \\ b_t &= b_{t-1} + A_2 e_t \\ v_{\mu\mu, t} &= r_{11} - A_1^2 v_e \\ v_{\mu\beta, t} &= r_{12} - A_1 A_2 v_e \\ v_{\beta\beta, t} &= r_{22} - A_2^2 v_e \end{aligned} \quad (13)$$

On introduit enfin la fonction - B :

$$\phi_t = B(\phi_{t-1}; v_{\epsilon}, v_{\gamma}, v_{\delta}) \quad (14)$$

pour indiquer l'algorithme de mise à jour.

#### 4.5. Exemples

EXEMPLE1  
 201 198 199 203 200 201 200 200 300 210 200 202 199 180 100  
 101 184 182 95 103 100 103 70 90 105 103 100 101 98 98  
 101 100 102 90 120 102 98 88 105 120 116 140 145 155 160  
 163 108 200 202 220 240 260 290 290 290

HH-EXEMPLE1

OO-EXEMPLE1

FREU  
 PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
 LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
 \_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
 \_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
 \_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
 CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
 PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .85  
 NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 10  
 LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
 PROBA AVANT LA PREVISION : 0.828 0.005 0.005 0.162  
 PREVISION 1 : 306.876  
 PREVISION 2 : 319.177  
 PREVISION 3 : 331.479  
 PREVISION 4 : 343.781  
 PREVISION 5 : 356.082  
 PREVISION 6 : 368.384  
 PREVISION 7 : 380.685  
 PREVISION 8 : 392.987  
 PREVISION 9 : 405.288  
 PREVISION 10 : 417.59



TAB  
VALEURS DE QUELLE METHODE L/F : L

\*\*\*\*\*  
\* DONNEES \*PREVISIONS\*

\*\*\*\*\*  
\* 0.0 \* 0.0 \*  
\* 0.0 \* 0.0 \*  
\*\*\*\*\*

TAB  
VALEURS DE QUELLE METHODE L/F : F

\*\*\*\*\*  
\* DONNEES \*PREVISIONS\*

\*\*\*\*\*  
\* 201.0 \* 201.0 \*  
\* 198.0 \* 201.0 \*  
\* 199.0 \* 200.0 \*  
\* 203.0 \* 199.7 \*  
\* 200.0 \* 200.4 \*  
\* 201.0 \* 200.4 \*  
\* 200.0 \* 200.5 \*  
\* 200.0 \* 200.4 \*  
\* 300.0 \* 200.3 \*  
\* 210.0 \* 203.7 \*  
\* 200.0 \* 208.8 \*  
\* 202.0 \* 204.3 \*  
\* 199.0 \* 203.5 \*  
\* 180.0 \* 202.0 \*  
\* 100.0 \* 196.6 \*  
\* 182.0 \* 192.6 \*  
\* 184.0 \* 183.6 \*  
\* 182.0 \* 183.1 \*  
\* 95.0 \* 181.8 \*  
\* 103.0 \* 177.9 \*  
\* 100.0 \* 171.7 \*  
\* 103.0 \* 162.2 \*  
\* 70.0 \* 143.0 \*  
\* 90.0 \* 120.6 \*  
\* 105.0 \* 100.2 \*  
\* 103.0 \* 102.2 \*  
\* 100.0 \* 101.5 \*  
\* 101.0 \* 99.4 \*  
\* 90.0 \* 90.0 \*  
\* 90.0 \* 97.3 \*  
\* 101.0 \* 96.3 \*  
\* 100.0 \* 96.7 \*  
\* 102.0 \* 96.9 \*  
\* 90.0 \* 97.9 \*  
\* 120.0 \* 94.6 \*  
\* 102.0 \* 99.0 \*  
\* 98.0 \* 100.2 \*  
\* 88.0 \* 99.2 \*  
\* 105.0 \* 94.9 \*  
\* 120.0 \* 97.8 \*  
\* 118.0 \* 104.1 \*  
\* 140.0 \* 110.4 \*  
\* 145.0 \* 116.9 \*  
\* 135.0 \* 130.2 \*  
\* 160.0 \* 147.1 \*

A 240.0 \* 217.7 \*  
A 260.0 \* 236.7 \*  
A 290.0 \* 257.9 \*  
A 290.0 \* 278.8 \*  
A 290.0 \* 299.5 \*  
A 306.9 \* 306.9 \*  
A 319.2 \* 319.2 \*  
A 331.5 \* 331.5 \*  
A 343.8 \* 343.8 \*  
A 356.1 \* 356.1 \*  
A 368.4 \* 368.4 \*  
A 380.7 \* 380.7 \*  
A 393.0 \* 393.0 \*  
A 405.3 \* 405.3 \*  
A 417.6 \* 417.6 \*  
A 429.9 \* 429.9 \*

\*\*\*\*\*



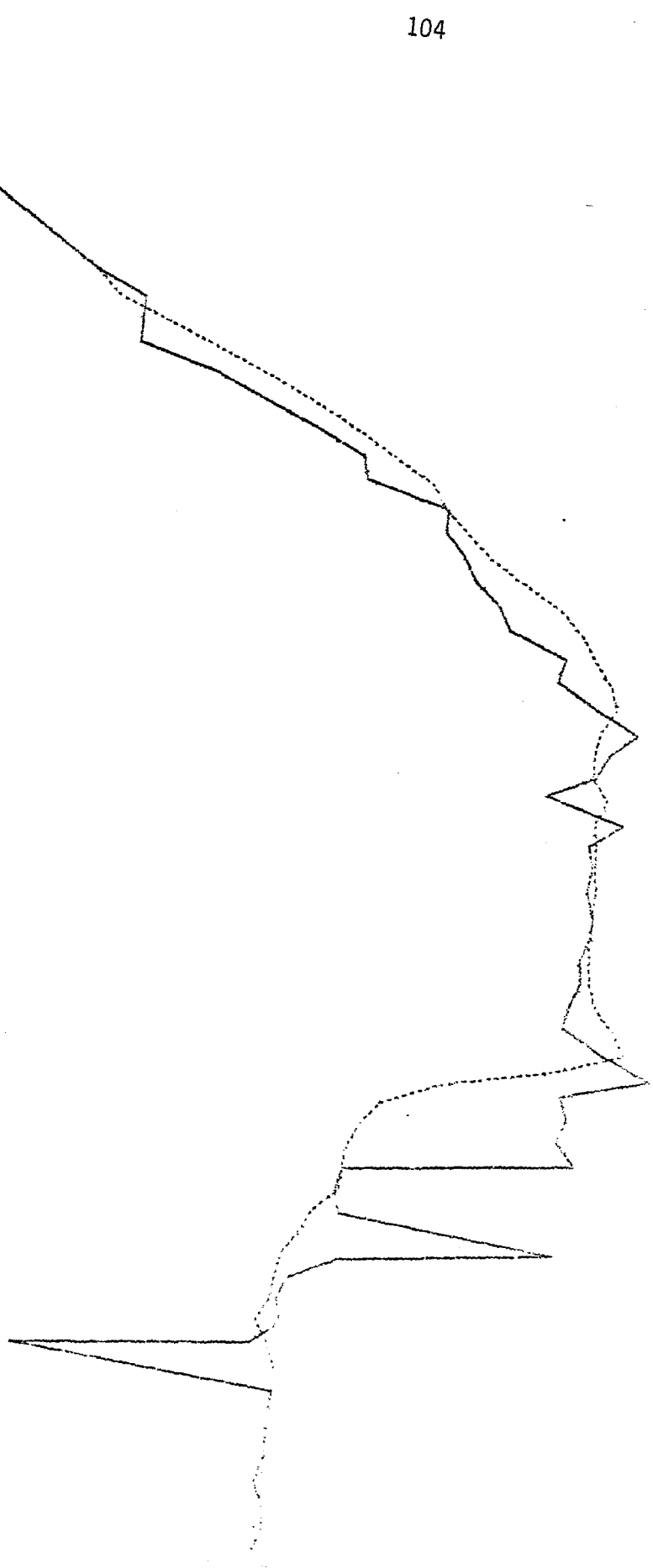
THERMISTOR M. 10110

FREI  
 PROBABILITE DE DEPART: 9 .003 .003 .094  
 LES CHOIX DE SROUILL POSSIBLE SONT :  
 CHOIX 1 : L'ISSUE SUR LES PROBABILITES D'UN INSTANT T  
 CHOIX 2 : L'ISSUE DU PASSE  
 CHOIX 3 : L'ISSUE CROISSANTE :  
 CHOIX 4 : L'ISSUE EFFECTIVE : CHOIX 5  
 CHOIX 6 : L'ISSUE D'EFFETUE : 10  
 LE CHOIX 7 : LE CHOIX 8 : LE CHOIX 9 : LE CHOIX 10 :  
 FREI ABOIT LA PREVISION : 0.900 0.003 0.003 0.094  
 PREVISION 1 : 300.838  
 PREVISION 2 : 322.240  
 PREVISION 3 : 335.659  
 PREVISION 4 : 349.07  
 PREVISION 5 : 362.401  
 PREVISION 6 : 375.891  
 PREVISION 7 : 389.302  
 PREVISION 8 : 402.713  
 PREVISION 9 : 416.123  
 PREVISION 10 : 429.534

EXEMPLE 1

CHOIX 13





1964, 1965, 1966

EXEMPLE2.

200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240			
250	260	270	280	290	300											

HH-EXEMPLE2

HP-ECAVAR EXEMPLE2

PREU

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

\_CHOI2 : POIDS DU PASSE

\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1

PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .85

.85

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 10

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.956 0.001 0.002 0.040

PREVISION 1 : 308.037

PREVISION 2 : 317.896

PREVISION 3 : 327.755

PREVISION 4 : 337.613

PREVISION 5 : 347.472

PREVISION 6 : 357.331

PREVISION 7 : 367.19

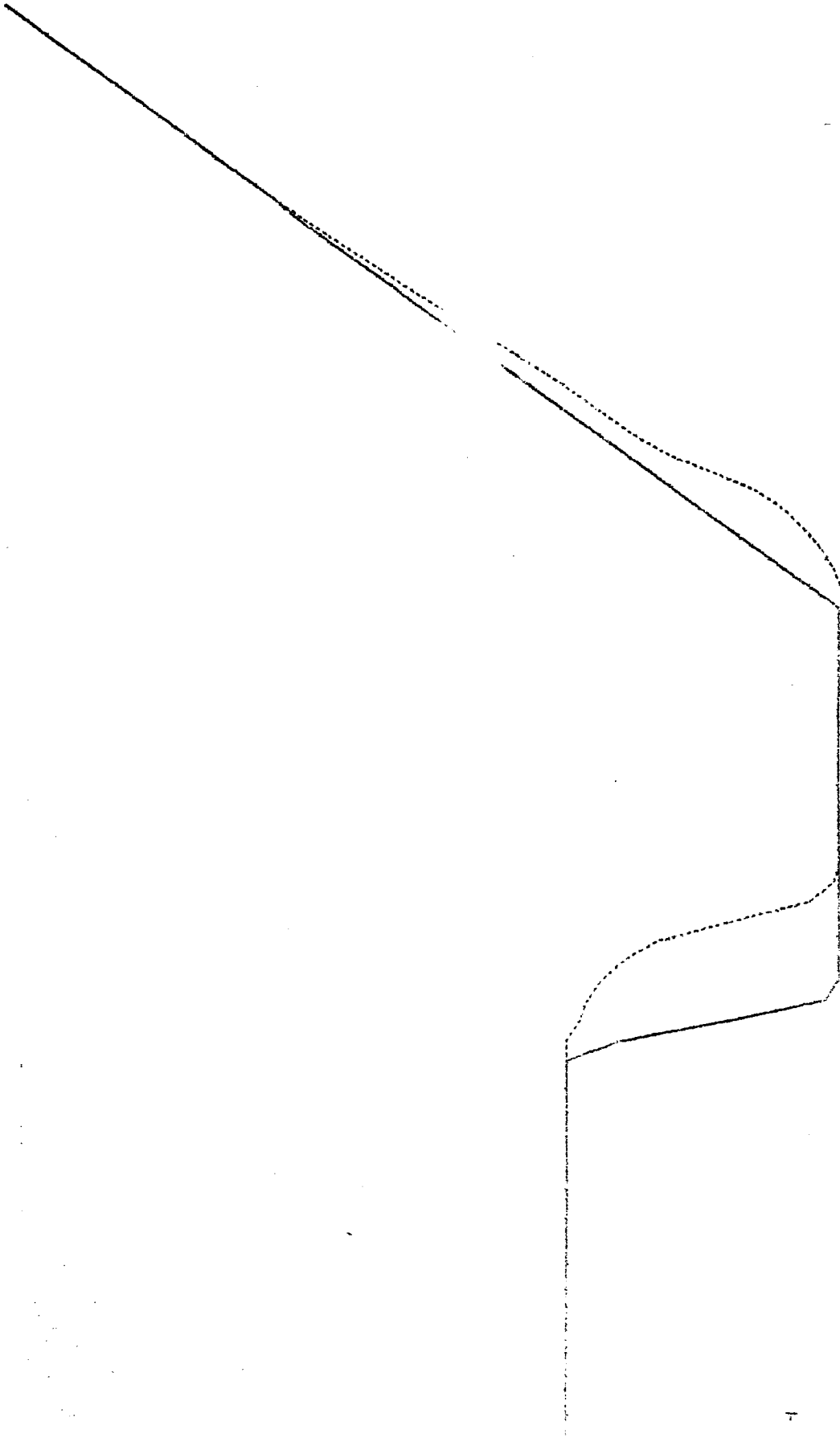
PREVISION 8 : 377.048

PREVISION 9 : 386.907

PREVISION 10 : 396.766

TAB					
VALEURS DE QUELLE METHODE .LSF : F					
*****					
* DONNEES	*	*PREVISIONS*	*	*	*
*****					
A	200.0	%	200.0	*	*
B	200.0	%	200.0	*	*
C	200.0	*	200.0	*	*
D	200.0	*	200.0	*	*
E	200.0	*	200.0	*	*
F	200.0	*	200.0	*	*
G	200.0	*	200.0	*	*
H	200.0	*	200.0	*	*
I	200.0	*	200.0	*	*
J	200.0	*	200.0	*	*
K	200.0	*	200.0	*	*
L	200.0	*	200.0	*	*
M	200.0	*	200.0	*	*
N	200.0	*	200.0	*	*
O	200.0	*	200.0	*	*
P	200.0	*	200.0	*	*
Q	200.0	*	200.0	*	*
R	200.0	*	200.0	*	*
S	200.0	*	200.0	*	*
T	200.0	*	200.0	*	*
V	200.0	*	200.0	*	*
X	200.0	*	200.0	*	*
Z	200.0	*	200.0	*	*
[ ]	200.0	*	200.0	*	*
a	180.0	*	200.0	*	*
b	140.0	*	195.1	*	*
c	105.0	*	192.7	*	*
d	100.0	*	187.9	*	*
e	100.0	*	179.9	*	*
f	100.0	*	168.4	*	*
g	100.0	*	147.8	*	*
h	100.0	*	120.5	*	*
i	100.0	*	105.8	*	*
j	100.0	*	100.9	*	*
k	100.0	*	99.5	*	*
l	100.0	*	98.8	*	*
m	100.0	*	98.4	*	*
n	100.0	*	98.0	*	*
o	100.0	*	97.8	*	*
p	100.0	*	97.7	*	*
q	100.0	*	97.6	*	*
r	100.0	*	97.9	*	*
s	100.0	*	98.0	*	*
t	100.0	*	98.2	*	*
v	100.0	*	98.4	*	*
x	100.0	*	98.6	*	*
y	100.0	*	98.8	*	*
z	100.0	*	98.8	*	*

**南南漢南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南南**







## ANNEXE



#### 4.6. Description de l'algorithme

On suppose que la distribution de  $(\mu_{t-1}, \beta_{t-1}/d_{t-1})$ , est la somme, pondérée par des probabilités d'être dans un état sachant  $d_{t-1}$ , de distributions bi-normales.

Soit

$$(\mu_{t-1}, \beta_{t-1}/d_{t-1}) = \sum_{i=1}^4 q_{t-1}^{(i)} N(\phi_{t-1}^{(i)}); i \text{ état}$$

où  $q_{t-1}^{(i)}$  = probabilité, sachant  $d_{t-1}$  que le processus se trouvait à l'état  $i$  au moment  $t-1$

et  $\phi_{t-1}^{(i)}$  comme défini dans (4).

Alors avant la réalisation de  $d_t$ , on peut calculer les paramètres de  $(\mu_t, \beta_t/d_t)$  suivant les formules qui suivent. La prévision étant

$$\sum_{j=1}^4 q_t^{(j)} (m_t^{(j)} + b_t^{(j)})$$

Passage de  $t-1$  à  $t$

$$(\mu_{t-1}, \beta_{t-1}/d_{t-1}) \sim \sum_{i=1}^4 q_{t-1}^{(i)} N(\phi_{t-1}^{(i)}) \quad (14)$$

$$(\mu_t, \beta_t/d_t, S_t = j, S_{t-1} = i) \sim N(\phi_t^{(i, j)})$$

$$\text{où } \phi_t^{(i, j)} = B(\phi_{t-1}^{(i)}; v_{\varepsilon}^{(j)}, v_{\gamma}^{(j)}, v_{\delta}^{(j)})$$

la probabilité à posteriori est

$$(\mu_t, \beta_t/d_t) \sim \sum p_t^{(i, j)} N(\phi_t^{(i, j)}) \quad (15)$$

$$\text{où } p_t^{(i, j)} = P(S_t = j, S_{t-1} = i / d(t)) \quad (16)$$

où  $d(t)$  toutes les observations,  $d_t$  inclus.

$$e_t^{(i)} = d_t - (m_{t-1}^{(i)} + b_{t-1}^{(i)}) \quad (17)$$

$$\begin{aligned}
r_{11}^{(i, j)} &= v_{\mu\mu}^{(i)}{}_{t-1} + 2 v_{\mu\beta}^{(i)}{}_{t-1} + b_{\beta\beta}^{(i)}{}_{t-1} + v_{\gamma}^{(j)} + v_{\delta}^{(j)} \\
r_{12}^{(i, j)} &= v_{\mu\mu}^{(i)}{}_{t-1} + v_{\beta\beta}^{(i)}{}_{t-1} + v_{\delta}^{(j)} \\
r_{22}^{(i, j)} &= v_{\beta\beta}^{(i)}{}_{t-1} + v_{\delta}^{(j)}
\end{aligned} \tag{18}$$

Puis :

$$\begin{aligned}
v_e^{(i, j)} &= r_{11}^{(i, j)} + v_e^{(j)} \\
A_1^{(i, j)} &= r_{11}^{(i, j)} / v_e^{(i, j)} \\
A_2^{(i, j)} &= r_{12}^{(i, j)} / v_e^{(i, j)}
\end{aligned} \tag{19}$$

et alors :

$$\begin{aligned}
m_t^{(i, j)} &= m_{t-1}^{(i)} + b_{t-1}^{(i)} + A_1^{(i, j)} e_t^{(i)} \\
b_t^{(i, j)} &= b_{t-1}^{(i, j)} + A_2^{(i, j)} e_t^{(i)} \\
v_{\mu\mu, t}^{(i, j)} &= r_{11}^{(i, j)} - A_1^{(i, j)} v_e^{(i, j)} \\
v_{\mu\beta, t}^{(i, j)} &= r_{12}^{(i, j)} - A_1^{(i, j)} A_2^{(i, j)} v_e^{(i, j)} \\
v_{\beta\beta, t}^{(i, j)} &= r_{22}^{(i, j)} - A_2^{(i, j)^2} v_e^{(i, j)}
\end{aligned} \tag{20}$$

$$p_t^{(i, j)} = k \sqrt{\frac{1}{2\pi v_e^{(i, j)}}} \exp \left\{ -\frac{e_t^{(i)^2}}{2 v_e^{(i, j)}} \right\} \pi_j q_{t-1}^{(i)} \tag{21}$$

où k est donnée par  $\sum_{i,j} p_t^{(i, j)} = 1$

On revient maintenant à une distribution à quatre composantes :

$$(\mu_t, \beta_t/d_t) \sim \sum_{j=1} q_t^{(j)} N(\phi_t^{(j)})$$

avec

$$\begin{aligned}
 q_t^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} \\
 m_t^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} m_t^{(i, j)} / q_t^{(j)} \\
 b_t^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} b_t^{(i, j)} / q_t^{(j)}
 \end{aligned} \tag{22}$$

et :

$$\begin{aligned}
 v_{\mu\mu, t}^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} [v_{\mu\mu, t}^{(i, j)} + (m_t^{(i, j)} - m_t^{(j)})^2] / q_t^{(j)} \\
 (23) \quad v_{\mu\beta, t}^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} [v_{\mu\beta, t}^{(i, j)} + (m_t^{(i, j)} - m_t^{(j)})(b_t^{(i, j)} - b_t^{(j)})] / q_t^{(j)} \\
 v_{\beta\beta, t}^{(j)} &= \sum_i p_t^{(i, j)} [v_{\beta\beta, t}^{(i, j)} + (b_t^{(i, j)} - b_t^{(j)})^2] / q_t^{(j)}
 \end{aligned}$$

#### Initiation

On suppose que la variance du processus dans une évolution normale est connue.

$$v_0 = \text{bruit de base (var } (\varepsilon_t) = v_0 (\mu_t) \tag{24}$$

les paramètres du système sont

$$\begin{aligned}
 \pi_j &= \text{probabilité de l'état } j \\
 v_e^{(j)} &= \text{var } (\varepsilon), \text{ état } j \quad j = 1, \dots, 4 \\
 v_\gamma^{(j)} &= \text{var } (\gamma), \text{ état } j \\
 v_\delta^{(j)} &= \text{var } (\delta), \text{ état } j
 \end{aligned} \tag{25}$$

$v_\varepsilon^{(j)}, v_\gamma^{(j)}, v_\delta^{(j)}$  sont calculés à partir du bruit de base

$$\begin{aligned}
 v_\varepsilon^{(j)} &= R_\varepsilon^{(j)} v_0 \\
 v_\gamma^{(j)} &= R_\gamma^{(j)} v_0 \\
 v_\delta^{(j)} &= R_\delta^{(j)} v_0
 \end{aligned} \tag{26}$$

Ces auteurs préconisent un jeu de valeurs, qui donnent de bons résultats (comme on a pu le constater nous-même).

Voici le tableau de ces valeurs :

Etat	Prob	$R_\epsilon$	$R_Y$	$R_\delta$
1. Pas de changement	0-900	1	0	0
2. Changement de pas	0-003	1	100	0
3. Changement de pente	0-003	1	0	1
4. Transitoire	0.094	101	0	0

Ainsi

$$\begin{aligned}
 v_\epsilon &= (1 \quad 1 \quad 1 \quad 101) \cdot v_0 \\
 v_Y &= (0 \quad 100 \quad 0 \quad 0) \cdot v_0 \\
 v_\delta &= (0 \quad 0 \quad 1 \quad 0) \cdot v_0
 \end{aligned} \tag{27}$$

les autres valeurs d'initialisation que nous avons prises sont :

$$\begin{aligned}
 m_1 &= (d_1 \quad d_1 \quad d_1 \quad d_1) \\
 d_1 &= (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) \\
 v_{\mu\mu, 1} &= (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0) = v_{\beta\beta 1} = v_{\mu\beta 1}
 \end{aligned}$$

la valeur prévue à l'instant 1 étant alors évidemment égale à  $d_1$ .

#### *L'apprentissage du système*

Les résultats dépendent fortement de la probabilité d'occurrence des différents états. Et il n'y a pas de raison pour que le système ne modifie pas les probabilités initiales en fonction de l'évolution du système.

A un instant  $t$ , on connaît la probabilité que l'on a de se trouver dans un état donné (appelons la  $Q$  : vecteur à 4 composantes).

En examinant :

- . la valeur que l'on avait prévu pour cet instant  $t$
- . la valeur réelle observée
- . la probabilité indépendante de se trouver dans cet état (indépendante du temps)

On peut décliner une matrice  $Q_1$ :  $[Q_1(i, j)]$  où  $Q_1(i, j)$  est la probabilité de panage de l'état  $i$  à l'état  $j$  pour l'instant suivant. On peut alors calculer  $Q$  pour l'état  $t + 1$ , et donc connaître la probabilité de se trouver à  $t + 1$  dans l'état donné.

On a utilisé pour cela deux méthodes

On peut connaître à l'instant  $t$  connaissant la valeur observée à cet instant  $t$ , la probabilité  $QQ$  d'avoir été à  $t - 1$ , dans un état donné. Pour la prévision de l'instant  $t + 1$  on peut modifier le jeu des probabilités  $\tau_j$ ,  $j = 1, \dots, 4$

et lui faire tenir compte des valeurs QQ passées.

a) On effectue un lissage exponentiel, sur les valeurs prises par QQ, et on donne à  $\{\pi_j\}$  la dernière valeur de ce lissage. On peut alors en jouant sur le paramètre de lissage (LA) doser l'importance du passé.

b) Plus simplement on affecte à la probabilité  $\{\pi_j\}$  choisie à l'instant  $t - 1$  un certain coefficient de pondération II qui permet la valeur de QQ calculé à  $t$  de fixer  $\{\pi_j\}$  pour l'instant  $t$  et donc de prévoir  $t + 1$ .

L'ensemble des programmes est conçu, comme pour les autres modèles sous forme conversationnelle.





## CHAPITRE 5

### MODELE DE SIMULATION



5.1. Dans ce chapitre on va présenter un modèle de simulation de type prévisionnel ; c'est à dire un modèle développé pour définir la conséquence de diverses sortes d'actions. Le modèle simule un établissement universitaire comportant plusieurs secteurs (U.E.R.), chacun fonctionnant indépendamment des autres.

On s'efforce par une formalisation appropriée de tenir compte de paramètres qui interagissent pour former la réalité universitaire, tout en les quantifiant de manière adéquate. Notre souci est la mise au point et l'utilisation d'un modèle exploitable qui possède une certaine souplesse, qui lui permet de faire face à des modifications concernant l'enseignement. En effet, il est à prévoir que nous désirerons étudier des structures modèles assorties de "solution de rechange" et qu'en étudiant selon tel modèle nous souhaiterons que sa structure puisse se modifier avec le temps. Nous voudrions aussi faire varier les hypothèses et les paramètres du modèle, et exécuter rapidement et économiquement des calculs répétés. Il est nécessaire donc que le langage descriptif employé soit à la fois très général et très souple.

L'objectif principal de ce modèle de simulation de type prévisionnel est de fournir un moyen d'évaluer clairement et rapidement les conséquences futures. Ainsi, par exemple, pour les exigences des coûts et de potentiel humain, il évaluera l'introduction de nouveaux cursus, de classes plus petites, des rapports étudiants-enseignants améliorés, etc...Tous les résultats fournis sont très importants pour la planification et la formulation des objectifs possibles à long terme. On suppose que l'administration à l'échelle universitaire et au niveau de chaque U.E.R. peut fournir les données nécessaires quant aux :

- flux étudiant,
- programmes d'enseignement,
- corps enseignant,
- données de coûts adéquats.

Un modèle étant la description d'une structure et de ses relations, la structure se compose d'un certain nombre de processus identifiés qui sont reliés par des règles de mouvement qu'il faudra préciser, pour pouvoir prévoir les états futurs du système lorsque nous connaissons exactement son

état présent, et que nous admettons que les mouvements continueront à se faire sur toute la période qui nous intéresse. Ainsi, les étapes préalables à l'utilisation pratique d'un modèle de simulation sont les suivantes :

- 1- Isoler les frontières du système et identifier les composants majeurs du système,
- 2- Une fois les frontières et les composants identifiés, on doit étudier la distribution spatiale des composants et préciser leurs positions relatives,
- 3- Représenter les relations entre les composants du système,
- 4- Déterminer les paramètres exogènes et endogènes,
- 5- Enfin, le système d'information doit être constamment tenu à jour pour permettre une utilisation permanente du modèle.

On considère l'Université comme un système régi par un ensemble de paramètres ou de coefficients techniques, on utilise le modèle de simulation pour calculer les conséquences des modifications des paramètres et on peut même calculer les conséquences futures de changements structurels actuels. En concentrant ses discussions sur les paramètres, l'administration dégagera les motivations des demandes de crédits et devrait pouvoir calculer les conséquences d'un changement de paramètres sous son contrôle.

Le modèle agit de façon déterministe ; aucune incertitude n'apparaît dans le modèle. Nous supposons que tous les paramètres ont des valeurs fixes mais remplaçables, contrôlables et modifiables au cours du processus de simulation.

On considère deux niveaux : organe central - U.E.R. Toutefois, les paramètres devraient être établis après accord entre les deux niveaux. Il va de soi que la base des accords devra comprendre des informations émanant aussi bien de niveaux supérieurs (Ministère : plafond des ressources) que de niveaux inférieurs, par exemple des informations données par les départements sur les effectifs et la répartition des enseignants.

Il ne faut pas oublier que l'utilisation d'un modèle de simulation permet simplement une orientation de programmes. Par contre, il est essentiel d'utiliser des critères déterminés pour évaluer les priorités sur des bases solides. Pour déterminer des critères adéquats, nous devons cependant identifier les éléments influençant l'output qui souvent sont qualitatifs. Les éléments influençant l'output seront exprimés par plusieurs paramètres du modèle. Une modification dans ces paramètres se traduira par un changement d'équilibre et se répercutera ensuite sur les priorités.

Notre modèle de simulation est constitué en fait par plusieurs sous-modèles, chacun modélisant un aspect particulier de l'activité universitaire.

Ils sont programmés sous forme conversationnelle et l'utilisateur peut établir un dialogue avec l'ordinateur à partir d'un écran.

Les sous-modèles présentés sont les suivants :

Prog-Edu : Ce modèle constitue la base du modèle global, dans la mesure où il évalue à partir d'un état initial l'état de chaque U.E.R.,

pour chaque période de simulation en fournissant les effectifs des inscrits, des abandons et des diplômés et aussi la "trajectoire" de ces variables, donc l'évolution du système pour les états transitoires. La modélisation est basée sur les principes de la *pyramique des systèmes (ex Dynamique Industrielle)*.

Flux : Le modèle du type chaîne de Markov sans circuits, simule le *Flux Étudiant*, par U.E.R. et par niveau d'étude. Il couvre le même domaine que le modèle *Prog Edu*.

Capaens : Un modèle qui évalue les *Capacité d'Enseignement* de chaque U.E.R. en nombre d'heures par semaine, en tenant compte des résultats fournis par *Prog Edu* ou *Flux*, et aussi :

- l'effectif et la répartition par grade des enseignants,
- le nombre d'heures statutaires d'enseignement,
- et divers coefficients techniques.

Demens : Il calcule la *Demande d'Enseignement* selon la liste des enseignements apportée par chaque U.E.R., en tenant compte :

- la taille des classes,
- les types de cours, cours magistraux ou cours en petites classes.

Budget : Il calcule le *Budget* pour chaque catégorie du personnel et le coût (moyen) par étudiant en fonction de l'effectif de chaque catégorie, les salaires et le nombre d'étudiants.

Dans les paragraphes qui suivent on examinera en détail, les modèles ci-dessus.

## 5.2. Le modèle de simulation :

### Les flux étudiants.

Un point important pour la gestion d'une Université est l'estimation des besoins en ressources et l'allocation de ces ressources pour satisfaire le fonctionnement.

Pour l'estimation des besoins, le facteur le plus important est le nombre d'étudiants inscrits chaque année, et leur répartition entre les U.E.R. et les niveaux d'études. Tous les autres paramètres comme le nombre d'enseignants et non-enseignants, les locaux, le nombre d'heures d'enseignement, ... dépendent directement ou indirectement de l'évolution de l'effectif étudiant.

Ainsi, la base du modèle de simulation est l'étude du "flux étudiant" qui répartit pour chaque année académique tous les étudiants en U.E.R., le nombre d'abandons et de diplômés.

Cette partie du modèle est fondée sur le nombre de nouveaux inscrits et les coefficients de transition qui "caractérisent" le passage d'un niveau d'études à un autre.

En effet, nous considérons que chaque *niveau d'études* a une durée d'un an. Les étudiants inscrits au niveau 1, première année, dans une U.E.R. -passeront au niveau suivant s'ils ont réussi, deuxième année à une certaine proportion, ou  
-ils resteront au même niveau (redoublants), ou  
-abandonneront.

Après une année supplémentaire, les redoublants passeront ou abandonneront ou ils peuvent redoubler encore si le règlement de la scolarité le permet.

Les étudiants qui se trouvent au niveau 2, seconde année, peuvent à la fin de l'année passer au niveau 3, rester au niveau 2 ou abandonner et ainsi de suite.

Au dernier niveau, les étudiants qui réussissent obtiennent leur diplôme. Pour les changements d'étude, les redoublants au niveau 1 peuvent soit commencer les mêmes études soit s'orienter vers d'autres disciplines au niveau 1, dans ce cas nous considérons qu'ils font partie des nouveaux inscrits.

Les inscriptions de chaque année peuvent être divisées en deux catégories :

- 1- Premières inscriptions (en principe au premier niveau d'études)

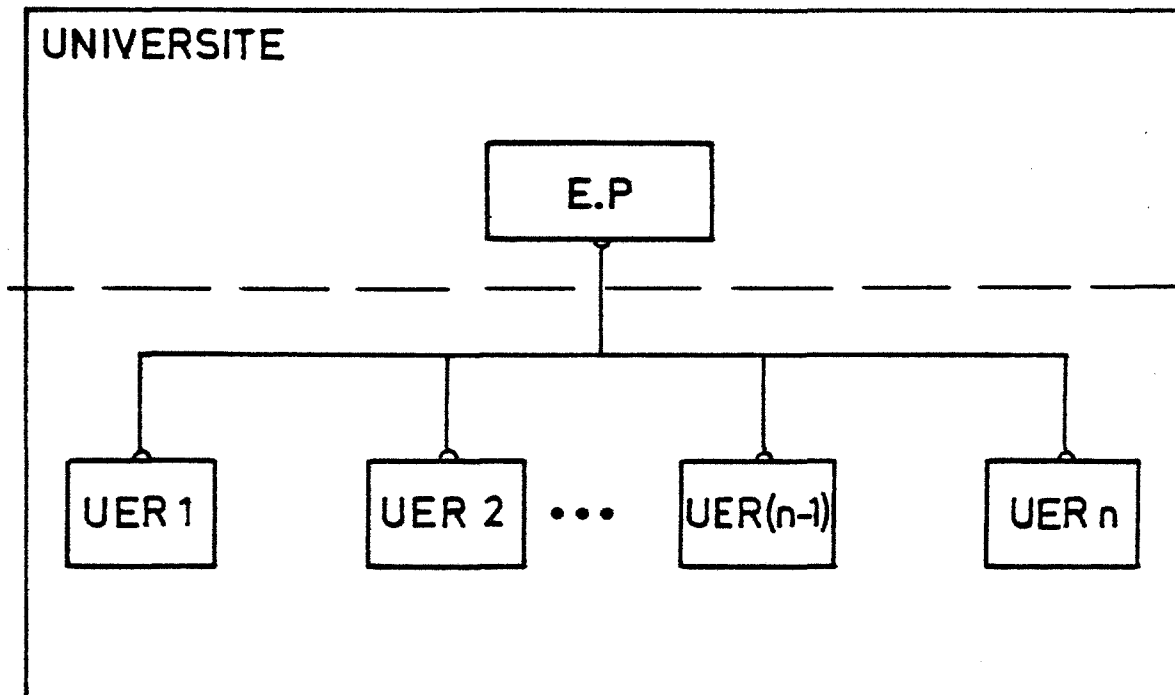


## 2- Inscriptions qui résultent des transitions à l'intérieur de l'Université.

La prévision de chacune de ces deux catégories nécessite des méthodes différentes. Tout au long de ce chapitre, on considère les nouvelles inscriptions comme conditions initiales, et les inscriptions de la seconde catégorie comme engendrées par des taux de transition.

Avant de commencer la description de notre modèle, parlons un peu des hypothèses implicites que nous avons fait pour la modélisation.

- On considère l'organisation de l'Université comme un système *structurellement segmenté et fonctionnellement différencié*



Chaque composante est analogue aux autres mais ne réalise pas les mêmes "tâches". Les relations entre les composantes sont linéaires et la "règle" de l'organisation est additive.

- On examinera la relation entre les inputs et les outputs au niveau "macro-analytique". C'est à dire on n'examine pas le processus de transformation mais uniquement la relation quantitative et qualitative entre

le couple input-output. (Le niveau *micro-analytique* concerne les modifications de la structure au cours du temps).

- Notre système est déterministe, les conditions initiales et l'état du système au moment  $t_Y$  nous permettent de prévoir sans ambiguïté l'état du système au moment  $t+1$ , c'est à dire  
quand on connaît les inputs et la configuration du système on peut prédire les outputs.

En utilisant le diagramme merveilleux de la boîte noire

On considère chaque U.E.R. (S) comme un processeur.

Input : étudiants admis  
Etat : la population étudiante  
Output : Diplômés, abandons.

Le processeur fonctionne grâce aux coefficients de transition. Il s'agit d'un processus dissout dont la période d'échantillonnage est l'année académique.

L'équation qui caractérise la dynamique du système peut s'écrire :

$$x(k+1) = P^T(k) x(k) + Gu(k+1)$$

où  $x(k)$  est le vecteur état population pendant l'année  $k$   
 $u(k+1)$  les nouvelles inscriptions au début de l'année  $(k+1)$   
 $P^T(k)$  la matrice transposée de  $P(k)$  : matrice qui donne les coefficients de transition  
 $G$  une matrice qui caractérise l'input.

Les outputs du système sont caractérisés par les relations :

$$y(k) = H(k) x(k)$$

où  $y(k)$  vecteur output "diplômés"  
 $H(k)$  matrice qui caractérise l'output

$$y_0(k) = H_0(k) x(k)$$

où  $y_0(k)$  vecteur output : abandons

$H(k)$  matrice de transition pour les abandons.

Illustration. Pour une U.E.R. donnée. Si  $x_i(k)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$  ; est le nombre d'étudiants au niveau d'études  $i$ . Et en supposant que les nouvelles inscriptions s'effectuent uniquement en première année, on a :

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & 0 & 0 \\ 0 & P_{22}(k) & P_{23}(k) & 0 \\ 0 & 0 & P_{33}(k) & P_{34}(k) \\ 0 & 0 & 0 & P_{44}(k) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1(k+1) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$y.(k) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & h_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}$$

Les diplômes sont délivrés uniquement en quatrième année. Et en ce qui concerne les abandons.

$$\begin{bmatrix} y_{01}(k) \\ y_{02}(k) \\ y_{03}(k) \\ y_{04}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{01} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{02} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{03} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{04} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}$$

où  $P_{ij}(k)$  représente le taux de transition des étudiants qui se trouvent pendant l'année  $k$  au niveau  $i$  et passeront au début de l'année  $k+1$  au niveau  $j$  ( $j \geq i$ )

$h_4(k)$  la proportion d'étudiants de la quatrième année qui vont obtenir leur diplôme à la fin de l'année  $k$

$h_{0i}$ ,  $i = 1,2,3,4$  est le taux d'abandon au niveau  $i$

### 5.3. Le cadre Markovien

La théorie classique des chaînes d'absorption de Markov (stationnaires de premier ordre) offre un cadre utile pour l'étude du flux étudiant.

Nous allons présenter rapidement les principales hypothèses sur lesquelles peut se fonder un modèle de chaînes d'absorption de Markov.

Le système peut se trouver dans un seul d'un nombre limité d'états et il ne peut changer son état qu'à des moments discontinus du temps.

Notons  $p_{ij}$  la probabilité qu'un système à l'état  $i$  au temps  $k$  passe à l'état  $j$  au temps  $k + 1$ . Ces probabilités sont définies pour tous les couples  $(i, j)$ ,  $i = 1, \dots, N$  ;  $j = 1, \dots, N$ , (où  $N$  est le nombre d'états) et nous les portons dans une matrice, dite *matrice de transition* de dimension  $N \times N$ .

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1N} \\ \cdot & \cdot & & \\ \cdot & \cdot & & \\ \cdot & \cdot & & \\ p_{N1} & p_{N2} & \cdots & p_{NN} \end{bmatrix}$$

On suppose que la matrice  $P$  est indépendante du temps.

#### Chaîne d'absorption

Un état appartenant à une chaîne de Markov est un *état absorbant*, s'il n'existe aucune probabilité de le quitter.

Une chaîne de Markov est "absorbante" si elle comporte au moins un état absorbant, et si, à partir de n'importe quel état, il est possible d'aller dans un état absorbant (sans que ce soit nécessairement en une seule étape).

S'il existe  $s$  états absorbants, donc  $N - s$  états non absorbants la matrice de transition aura la forme suivante, quand nous plaçons

les états absorbants en tête :

$$P = \left[ \begin{array}{c|c} I & 0 \\ \hline R & Q \end{array} \right]$$

où

$I$  est la matrice identité d'ordre  $s \times s$

$0$  est la matrice nulle  $s \times (N - s)$

$R$  une matrice  $(N - s) \times s$

$Q$  une matrice  $(N - s) \times (N - s)$

$R$  fournit les probabilités de passage d'un état non absorbant à un état absorbant.

$Q$  fournit les probabilités de passage entre les états transitoires.

Nous supposons qu'un étudiant se trouve soit dans un seul état transitoire d'une durée d'un an, soit dans un état absorbant.

Rappelons que l'application diffèrera de la méthode décrite ci-dessus en ce que nous utiliserons un modèle déterministe. Cela signifie que nous interpréterons les  $p_{ij}$  comme des coefficients de transition fixes et non comme des probabilités.

Pour les étudiants présents dans l'un quelconque des  $N$  états, par exemple  $i$ , il existe un jeu de coefficient de transition

$$p_{ij} ; j = 1, 2, \dots, N$$

représentant les proportions des étudiants qui iront l'année suivante dans chacun des états.

Ainsi,

$q_{ij}$  : est la proportion d'étudiants, qui sont présents dans l'état  $i$  et qui seront l'année suivante dans l'état transitoire  $j$  ;  $i, j = 1, 2, \dots, N - s$

$r_{ij}$  : est la proportion des étudiants présents à l'état  $i$  au cours d'une année donnée, qui quitteront l'Université à la fin de l'année ;  $i$  varie de 1 à  $N$  et  $j$  parmi les états absorbants.

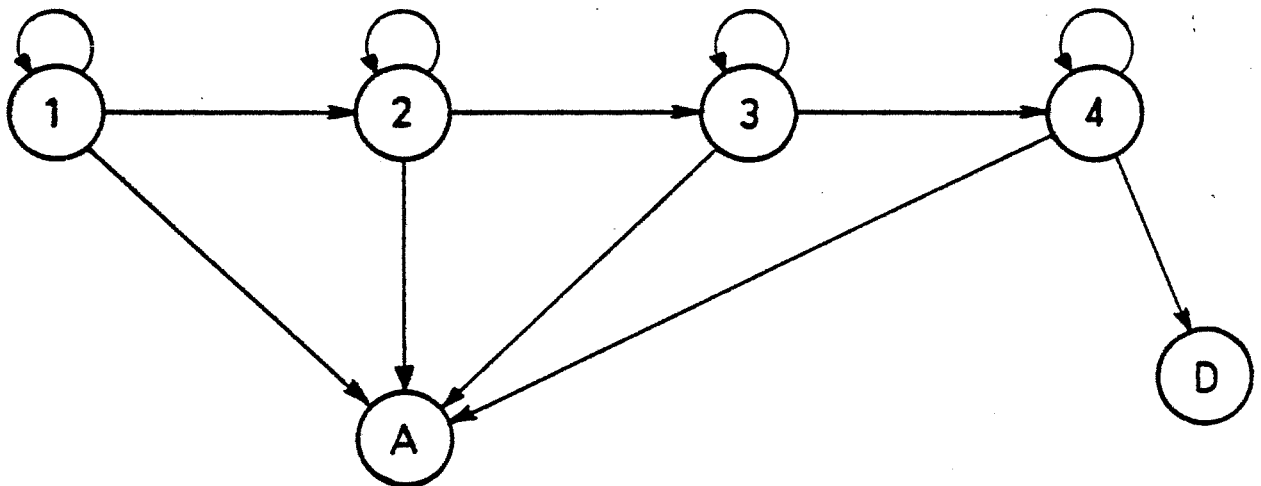
Dans la matrice  $Q$  :

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & \cdots & q_{1, N-s} \\ \vdots & & \\ q_{N-s, 1} & \cdots & q_{N-s, N-s} \end{bmatrix}$$

Les éléments diagonaux sont les coefficients de redoublement.

Si on considère une U.E.R, on peut distinguer quatre états transitoires (niveaux d'études) et deux états absorbants : les abandons et les diplômés.

Le graphe qui correspond à cette situation à la forme suivante :



Si  $A = 5$ ,  $D = 6$  et les niveaux d'études : 1, 2, 3, 4, la matrice  $P$  a la forme :

$P =$

	5	6	4	3	2	1
5	1	0	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0
4	$p_{45}$	$p_{46}$	$p_{44}$	0	0	0
3	$p_{35}$	0	$p_{34}$	$p_{33}$		
2	$p_{25}$	0	0	$p_{23}$	$p_{22}$	0
1	$p_{15}$	0	0	0	$p_{22}$	$p_{22}$

ou en utilisant la notation  $r_{ij}$ ,  $q_{ij}$  :

I		O			
$r_{45}$	$r_{46}$	$q_{44}$	0	0	0
$r_{35}$	0	$q_{34}$	$q_{33}$	0	0
$r_{25}$	0	0	$q_{23}$	$q_{22}$	0
$r_{15}$	0	0	0	$q_{12}$	$q_{11}$

#### Incidences du modèle.

Grâce à ce formalisme et les résultats classiques des chaînes de Markov, on peut répondre à plusieurs types de question. On présente quelques formules :

$q_{ij}^{(n)}$  : proportion d'étudiants qui se trouvent actuellement à l'état  $i$  et qui seront dans  $n$  années à l'état  $j$ .



Par définition on pose  $q_{ij}^{(0)} = 1$  si  $i = j$   
 $= 0$  si  $i \neq j$

$$\text{et } q_{ij}^{(1)} = q_{ij}$$

alors on a :

$$q_{ij}^{(n)} = \sum_{l=1}^{N-s} q_{il}^{(n-1)} q_{lj}$$

L'élément typique de la somme :  $q_{il}^{(n-1)} q_{lj}$  indique la proportion de ceux qui passent de l'état  $i$  à l'état  $l$  en  $(n-1)$  étapes, multipliée par la proportion de ceux qui passent de  $l$  à  $j$  en une seule étape.

L'élément  $q_{ij}^{(n)}$  est l'élément de la matrice  $Q^n$ .

Donc :

l'élément  $(i,j)$  de la matrice de transition  $Q$  à la puissance  $n$  indique la proportion d'étudiants qui se trouvent actuellement à l'état  $i$  et qui seront,  $n$  années après, dans l'état  $j$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ).

Nous pouvons aussi calculer la proportion d'étudiants se trouvant actuellement à l'état  $i$  et qui se trouveront  $n$  années plus tard dans un état quelconque c'est-à-dire le "taux de survie" de l'Université.

$$q_i^{(n)} = \sum_{j=1}^{N-s} q_{ij}^{(n)} \quad (i = 1, 2, \dots, N-s).$$

Il est possible aussi d'étudier la structure des effectifs étudiants à l'Université pour diverses hypothèses concernant l'évolution du nombre des nouveaux inscrits.

Supposons par exemple, que l'évolution du nombre des nouveaux inscrits est stationnaire et soit  $X(k) = X^*$  le nombre de nouveaux inscrits. La solution stationnaire  $C^*$  est trouvée par la résolution du système d'équation suivant :

$$C^* = Q^T C^* + X^*$$

dont la solution est  $C^* = (I - Q^T)^{-1} X^*$

où  $I$  est la matrice unité,

$Q^T$ , la matrice transposée de  $Q$ .

Par définition même, ce type de modèle de Markov ignore les performances passées des étudiants pendant leurs études, en les traitant de la même manière. Or il est possible, en ajoutant d'autres états, de fournir de la "mémoire" dans notre modèle ; par exemple on pourra différencier entre les étudiants qui réussissent dès la première fois et les redoublants, ou examiner le flux étudiant selon plusieurs catégories, par exemple : sexe, âge, CSP des parents, boursiers, etc... pourvu que l'on dispose des statistiques suffisantes.

#### 5.4. Modèle Markovien sans boucles

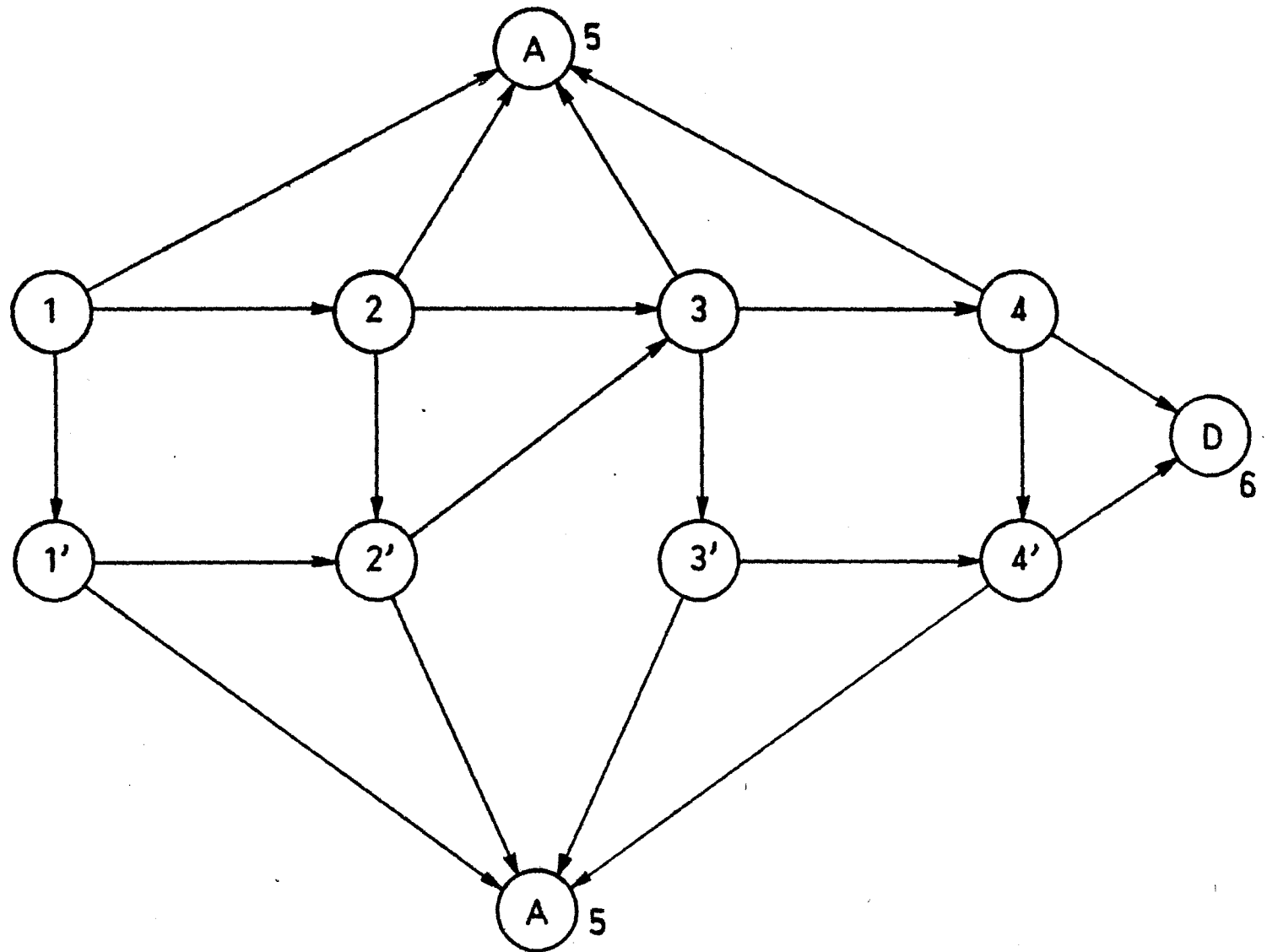
On utilise toujours les mêmes hypothèses de base, mais on n'aura plus de boucles dans le graphe qui représente le système. Notamment on va distinguer les redoublants et les non-redoublants. On va ajouter encore une contrainte, pour tenir compte du fait que en premier cycle, un étudiant n'a pas le droit de redoubler plus d'une fois. Dans le modèle, on suppose que cette restriction est valable pour le deuxième cycle aussi. Ceci n'a pas une très grande influence sur les résultats, puisque le pourcentage d'étudiants qui prennent plus de trois années pour avoir la maîtrise est faible. Et de toute façon, si on dispose des statistiques suffisantes, la structure du modèle permet d'incorporer encore de nouveaux états pour tenir compte de cette catégorie d'étudiants.

Ainsi, pour une U.E.R., on va avoir maintenant huit états transitoires et deux états absorbants. La matrice de transitions, en mettant d'abord les états absorbants peut toujours prendre la forme

$$P = \begin{bmatrix} & I & | & 0 \\ \hline & R & | & Q \end{bmatrix}$$

et le graphe associé est un réseau sans circuit.

(ci-après, graphe et matrice correspondants)



Etats transitoires : 1, 1', 2, 2', 3, 3', 4, 4'

Etats absorbants : 5 (abandons), 6 (diplomés).

	5	5	6		1	1'	2	2'	3	3'	4	4'
P =	5	1	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0
	1	$p_{15}$	0		0	$p_{11'}$	$p_{12}$	0	0	0	0	0
	1'	$p_{1'5}$	0		0	0	$p_{1'2'}$	0	0	0	0	0
	2	$p_{25}$	0		0	0	0	$p_{22'}$	$p_{23}$	0	0	0
	2'	$p_{2'5}$	0		0	0	0	0	$p_{2'3}$	0	0	0
	3	$p_{35}$	0		0	0	0	0	0	$p_{33'}$	$p_{34}$	0
	3'	$p_{3'5}$	0		0	0	0	0	0	0	0	$p_{3'4'}$
	4	$p_{45}$	$p_{46}$		0	0	0	0	0	0	0	$p_{44'}$
	4'	$p_{4'5}$	$p_{4'6}$		0	0	0	0	0	0	0	0

Pour une population donnée la matrice de transition  $P$  est connue. A partir de cette matrice et ses puissances  $P^n$  on peut obtenir le comportement quantitatif du processus.

A la matrice  $P$  on peut associer une matrice  $M = (m_{ij})$  pour  $i, j = 1, 2, \dots, N$  (matrice de connexion du réseau) qui est définie :

$m_{ij}$  vaut zéro lorsque  $p_{ij} = 0$

$m_{ij}$  vaut 1 si  $p_{ij} > 0$

$m_{ij}$  s'interprète comme la possibilité, si  $m_{ij} = 1$ , ou l'impossibilité, si  $m_{ij} = 0$ , de passage d'un état à un autre entre deux instants successifs.

La matrice  $M$  et ses "puissances" de la matrice  $M$ .

D'une façon générale à la puissance  $P^n$  de la matrice  $P$  on associe la matrice  $M^n$  des possibilités de transition en " $n$  étapes" (réseau des chemins de longueur  $n$  entre deux sommets).

Le calcul de  $M^n$  se fait, en algèbre booléenne, par l'algorithme :

$$m_{ij}^h = \bigvee_1 (m_{i1}^{(h-1)} \wedge m_{1j})$$

$$i, j = 1, 2, \dots, N$$

$$h = 1, 2, 3, \dots$$

dans lequel  $\bigvee$  et  $\wedge$  sont les opérations booléennes supremum et infimum.

### Etude du flux étudiant.

La matrice  $P$  décrit les flux entre tous les états, étape par étape. Mais on est aussi intéressé par la proportion des étudiants qui passent à un autre état en plusieurs étapes.

Soit :

$$F = [f_{ij}] \quad i = 1, \dots, N ; j = 1, \dots, N$$

la matrice qui donne les proportions d'étudiants qui passent d'un état  $i$  à un état  $j$ , dans tenir compte du temps.

Considérons d'abord les états transitoires :  $1, 2, \dots, N - 2$  et  $a_{ij}$  la proportion d'étudiants qui passent de l'état  $i$  à l'état  $j$ .

alors on a :

$$(1) \quad a_{ij} = q_{ij} + \sum_{l=1}^{N-2} q_{il} a_{lj} ; i, j = 1, 2, \dots, N - 2.$$

On définit ainsi la matrice  $A = [a_{ij}]$ ,  $i, j = 1, \dots, N - 2$  et en tenant compte de la relation (1) on peut écrire sous forme matricielle

$$A = Q + Q A$$

$$(I - Q) A = Q$$

Or la matrice  $(I - Q)$  possède toujours un inverse puisqu'il s'agit d'une chaîne absorbante (i.e.  $Q^n \rightarrow 0$ , quand  $n \rightarrow \infty$ )

Et on écrit :

$$(2) \quad A = (I - Q)^{-1} Q$$

On va considérer maintenant les proportions d'étudiants qui passent d'un état transitoire à un état absorbant. Notons cette proportion

$$b_{ij} \text{ où } i = 1, 2, \dots, N-2, j = N-1, N.$$

On a la relation :

$$(3) \quad b_{ij} = r_{ij} + \sum_{l=1}^{N-2} q_{il} b_{lj} \text{ pour } i = 1, \dots, N-2 \\ j = N-1, N.$$

On définit la matrice B

$$B = [b_{ij}] \quad i = 1, 2, \dots, N-2 ; j = N-1, N.$$

et on peut obtenir la relation (à partir de 3)

$$B = R + Q B$$

On a donc :

$$(4) \quad B = (I - Q)^{-1} R$$

Finalement, comme les proportions d'étudiants qui partent d'un état absorbant est zéro, la matrice F s'écrit :

$$(5) \quad \begin{aligned} F &= [A \mid B] \\ &= [(I - Q)^{-1} Q \mid (I - Q)^{-1} R] \\ &= (I - Q)^{-1} [Q \mid R] \\ F &= (I - Q)^{-1} [Q \mid R] \end{aligned}$$

#### Evolution du flux étudiant

On va utiliser la matrice M et ses "puissances"  $M^n$ ,  $n > 1$  (n entier). On avait déjà dit que la matrice  $M^n$  nous donne le nombre de chemins d'une durée n entre deux états. Mais pour notre problème, ce qui nous intéresse ce sont les états transitoires.

On considère donc la sous matrice de  $M^n$  que nous notons  $\hat{M}^n$ , et qui correspond aux états transitoires.

Au fur et à mesure que n augmente, les éléments de  $\hat{M}^n$  deviennent zéro. Ceci indique l'impossibilité de chemin de longueur n entre deux noeuds. Pour la valeur de n t.q.  $\hat{M}^{n+1} = 0$ ,  $\hat{M}^n$  donne le chemin le plus long parmi les états transitoires.

Ce qui est intéressant pour nous, est le fait qu'en combinant les matrices  $F$  et  $\hat{M}^n$  on peut obtenir le "profil" du flux étudiant.

Considérons toujours des états transitoires. Une proportion d'étudiants qui se trouvent à l'état  $i$ , arriveront à l'état  $j$ , en  $n$  périodes si, et seulement si, il existe un chemin de longueur  $n$  entre  $i$  et  $j$ .

Si on symbolise " $\square$ " la multiplication élément par élément de deux matrices de même ordre, on voit que la proportion d'étudiant se trouvant à l'état  $i$  et arrivant à l'état  $j$ , en  $n$  périodes est :

$$(6) \quad A \square \hat{M}^n$$

Considérons les étudiants qui entrent dans un état absorbant et quittent l'Université. Cette proportion est donnée :

$$(7) \quad (A \square \hat{M}^{n-1}) R, \text{ (évidemment } A \square \hat{M}^0 = I)$$

### Prédiction de la répartition des étudiants

Si à un moment donné on a  $X$  étudiants inscrits qui sont répartis parmi les  $N - 2$  états transitoires : à l'état  $i$  on a  $X_i$  étudiants.

On introduit la matrice diagonale :

$$X = [X_{ij}] \quad i, j = 1, \dots, N - 2.$$

$$\text{où} \quad X_{ij} = X_i \quad \text{pour chaque } i = 1, 2, \dots, N - 2.$$

Alors si on considère par de nouvelles inscriptions, la répartition des étudiants, pour  $n$  périodes est :

$$(8) \quad X (A \square \hat{M}^n)$$

Pour trouver donc le nombre d'étudiants qui se trouvent après  $n$  périodes à l'état  $i$  il faut ajouter tous les éléments de la colonne  $i$  dans la relation (8).

$$U = [1, 1, \dots, 1]$$

vecteur ligne dont les éléments sont tous égaux à 1, d'ordre  $N - 2$ .

Et on peut écrire :

$$(9) \quad U [ X (A \square \hat{M}^n) ]$$

qui est un  $a (N - 2)$  - vecteur ligne et chaque élément nous fournit le nombre d'étudiants qui se trouveront à l'état transitoire correspondant.

Par un raisonnement analogue la répartition des étudiants parmi les états absorbants, après  $n$  périodes est :

$$(10) \quad U [ X (A \square \hat{M}^n) R ]$$

Mais le système n'est pas fermé, et de nouveaux étudiants s'inscrivent chaque année (théoriquement dans chaque état transitoire) en pratique, en première année.

Soit  $X (k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, n - 1$  le nombre d'étudiants inscrit pour l'année  $k$ . ( $X (0)$  les conditions initiales). Alors la répartition des étudiants pour la période  $n$  sera :

$$(11) \quad U [ X (k) (A \square \hat{M}^{(n-k)}) ]$$

La prévision pour les inscriptions, pour tous les états transitoires après  $n$  périodes est obtenue en prenant la somme sur  $k$  :

$$(12) \quad \sum_{k=0}^{n-1} U [ X (k) (A \square \hat{M}^{(n-k)}) ]$$

Et, d'une manière semblable les effectifs pour les états absorbants :

$$(13) \quad \sum_{k=0}^{n-1} U [ X (k) (A \square \hat{M}^{(n-k-1)}) R ]$$

Pendant la période de simulation la matrice  $P$  peut être modifiée, pour des raisons diverses : amélioration du niveau général des étudiants ou des professeurs, amélioration de l'encadrement etc...

Ces changements peuvent être incorporés facilement dans le modèle, si on peut estimer les valeurs de la matrice  $P$ .



#### 5.4.1. Résumé du modèle :

Pour chaque U.E.R., on définit : 
$$P = \begin{pmatrix} I & 0 \\ R & Q \end{pmatrix}$$

.  $A = [a_{ij}]$ ,  $i, j = 1, \dots, N - 2$

ou

$$a_{ij} = q_{ij} + \sum_{l=1}^{N-2} q_{il} a_{lj}$$

ou sous forme matricielle  $A = (I - Q)^{-1} Q$

.  $U$  vecteur - ligne unité

. " $\square$ " symbolise la multiplication élément par élément de deux matrices.

.  $M$  la matrice de connexion,  $M^{(n)}$  la puissance booléenne de  $M$ .

.  $\hat{M}$  la sous matrice de  $M$  qui correspond aux états transitoires

.  $X(k)$  la matrice de nouvelles inscriptions ;  $k = 1, 2, \dots, n - 1$ .

Alors le nombre d'étudiants pour les états transitoires après  $n$  périodes est :

$$\sum_{k=0}^{n-1} U [X(k) (A \square \hat{M}^{(n-k)})]$$

le nombre d'étudiants qui se trouvent dans un état absorbant :

$$\sum_{k=0}^{n-1} U [X(k) (A \square \hat{M}^{(n-k-1)} R)]$$

FLUXE

Le dialogue avec l'ordinateur s'effectue à partir d'un écran.

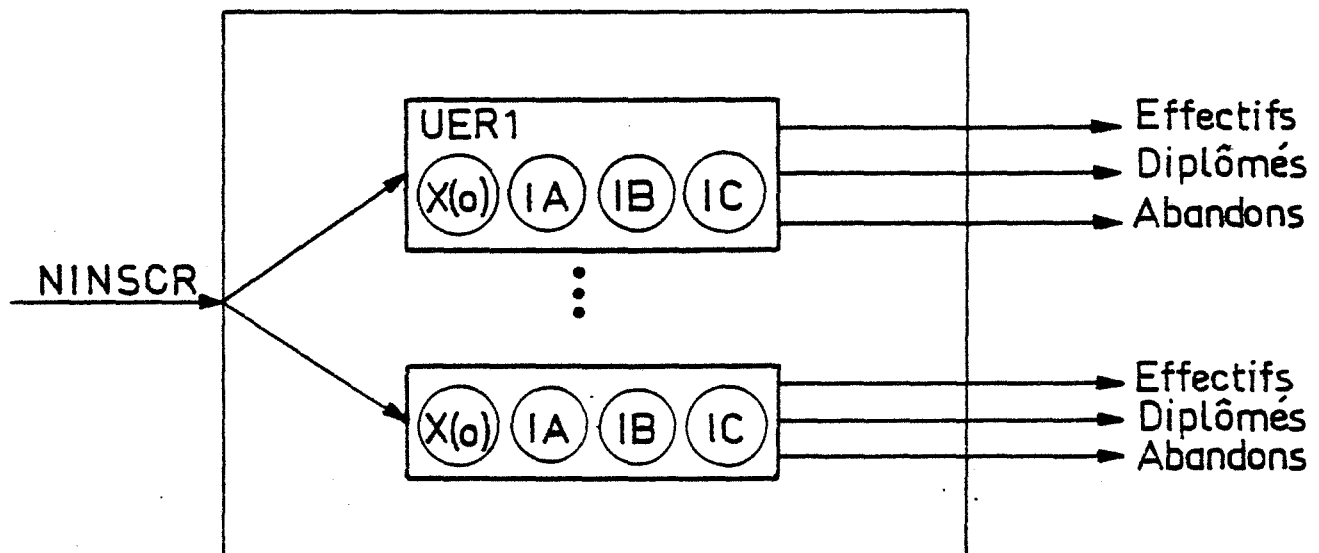
Données

- . Choix de (ou des) l'U.E.R.
- . Donner la durée de la simulation
- . donner les nouvelles inscriptions par niveau et par U.E.R.
- . Donner les taux de succès
- . Donner les taux de redoublement
- . Initialisation
- . Fin de la saisie des données.

Résultats

Le programme donne par année de simulation :

- . L'effectif de chaque niveau de chaque U.E.R.
- . L'effectif total des inscrits
- . L'effectif des abandons
- . L'effectif des diplômés.

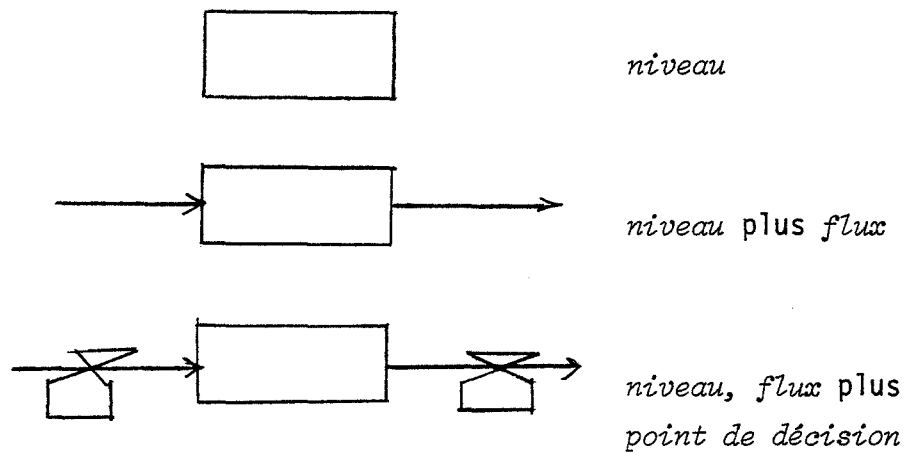
FLUXE (suite)

$X(0)$  : état initial  
 $IA$  : taux de succès  
 $IB$  : taux de redoublement  
 $IC$  : taux d'abandon  
**NINSCR**: nouveaux inscrits.

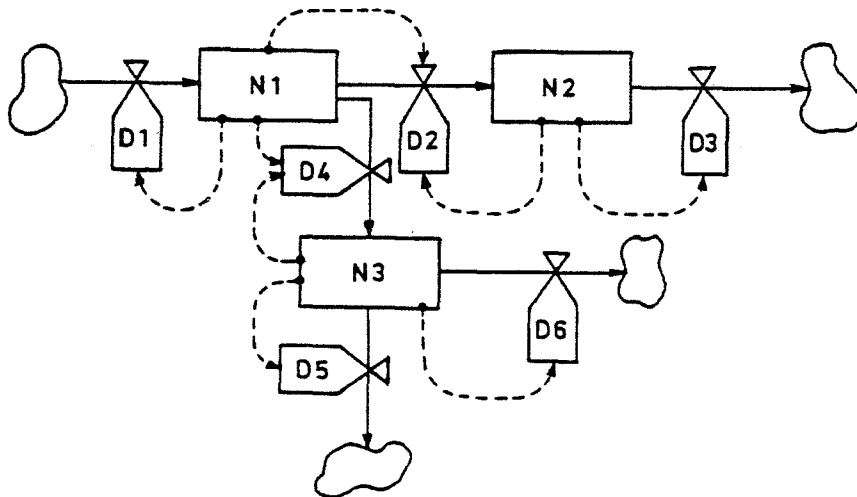
### 5.5. Modèle du type dynamique des systèmes

Structure générale du modèle : La structure générale du modèle est définie en première approximation comme celle de réservoirs reliés entre eux par des canalisations dont le débit est réglé par les décisions de ceux qui ouvrent ou ferment les vannes.

Les réservoirs sont les *niveaux*, les canalisations, les *flux*, les vannes les points de décision. A chacun de ces éléments on associe un symbolisme caractéristique.



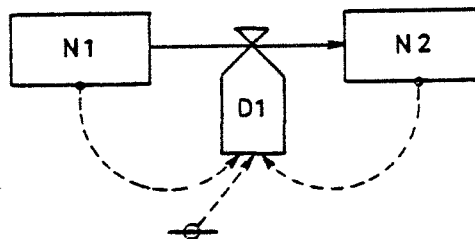
Ces différents éléments peuvent être assemblés pour donner naissance à un schéma du type de celui de la figure :



Ce schéma comprend trois niveaux reliés entre eux par des flux, et sur chacun de ces flux est porté le point de décision qui fixe la valeur du débit du flux.

Les fonctions des décisions qui fixent la valeur du débit tiennent compte des informations sur la valeur numérique des niveaux. Les liaisons d'informations sont représentées symboliquement par un trait pointillé reliant le niveau au point de décision.

Tout processus de décision a pour but de modifier la valeur d'un flux. Ceci correspond au schéma de la figure :



Le point de décision porté sur le flux D1 reliant N1 à N2 est symbolisé par un papillon. Le processus de décision symbolisé par un rectangle terminé d'une pointe, tient compte de la valeur des niveaux N1 et N2 et d'une constante A représentée par :

Nous avons vu, jusqu'à présent, d'une part quels étaient les concepts de base du modèle :

*niveau*  
*flux*  
*décision*

et d'autre part les règles de représentation graphique et l'assemblage de ces notions.

Ces concepts se distinguent quant à leur aspect fonctionnel, mais il faut les distinguer par la nature physique des grandeurs auxquelles ils sont attachés. Il faut pouvoir distinguer un flux en créant la notion de *réseau*.

La notion de réseau correspond à cette évidence qu'il ne peut circuler qu'un seul type de grandeur physique dans des niveaux et des flux connectés ensemble. Comme nous caractérisons un réseau par la nature des grandeurs qu'il véhicule, le plus sûr moyen de définir ces grandeurs est de leur attribuer une *unité de mesure* significative.

### Les équations

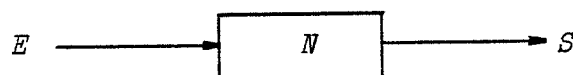
Jusqu'à présent nous avons créé des concepts dont la symbolisation n'était que graphique et nous avons posé des postulats dont les modalités d'application sont encore mal précisées. On va présenter maintenant la partie mathématique qui nous permettra de préciser et d'éclairer les notions.

La nature du modèle mathématique sera séquentielle. En effet, l'utilisation de l'ordinateur implique de nombreuses itérations ; le résultat de chaque itération sera affecté d'un indice de temps et nous dirons qu'entre deux indices de temps successifs s'est écoulé un temps  $DT$  qui constitue un cycle élémentaire de simulation.

Par convention, nous noterons les indices de temps  $I, J, K$  :  
 $J$  étant l'état présent  
 $I$  est l'instant passé  
 $K$  celui à venir.

Entre les instants  $I$  et  $J$  comme entre  $J$  et  $K$  s'écoule la même durée de temps  $DT$ .

Equation de niveau. Elle est une équation qui précise les flux entrant et sortant du niveau. Soit le niveau dont la variable représentée est  $N$  et qui comprend un flux d'entrée  $E$  et un flux de sortie  $S$ .



Nous désignerons par  $NK$  la valeur de niveau  $N$  à l'instant  $K$  et par  $E.JK$  la valeur du débit considéré comme constant durant l'intervalle  $JK$ .

Alors l'équation de niveau définira l'évolution de  $N$  en fonction de  $E$  et  $S$  soit :

$$N.K = N.J + DT (E.JK - S.JK)$$

Cette équation exprime que la valeur du niveau à l'instant  $K$  est égale à sa valeur précédente à l'instant  $J$ , plus les quantités entrées, moins les quantités sorties durant  $JK$ .

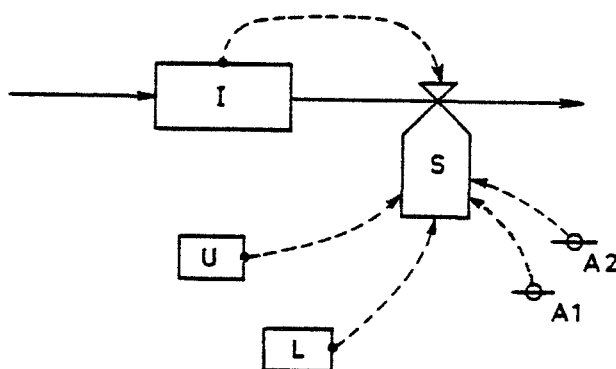
Equation de débit : Nous appellerons *équation de débit* ou *fonction de décision* toute équation qui détermine la valeur d'un flux pendant l'intervalle  $DT$ .

L'hypothèse fondamentale est que cette valeur sera constante durant tout l'intervalle. Il faut rappeler que les arguments de la fonction ne peuvent être que des variables de niveau.

Soit par exemple l'équation du débit suivante :

$$S.JK = \frac{U.J}{A1 + (A2) (L.J)/I.J}$$

qui signifie que le débit du flux  $S$  durant l'intervalle  $JK$  est fonction de la valeur des niveaux  $U$ ,  $L$ ,  $I$ , et des constantes  $A1$ ,  $A2$ . A cette équation on peut associer la représentation graphique :



On remarque que la valeur du débit pendant l'intervalle  $JK$  ne dépend que de la valeur des niveaux à l'instant  $J$ . Ceci caractérise toute équation de débit.

Evolution du système :

On a déjà mentionné que :

- les équations de niveau permettent de calculer la valeur d'un niveau à l'instant  $K$  en supposant connue sa valeur à l'instant  $J$  et celle du flux entrées ou sorties pendant l'intervalle  $JK$ .
- les équations de débit permettent de calculer la valeur constante des flux durant l'intervalle  $JK$  en supposant connue la valeur constante des flux durant l'intervalle  $JK$  en supposant connue uniquement la valeur des niveaux à l'instant  $J$  et des constantes introduites dans l'équation.

Si l'indice  $J$  représente l'instant initial dans l'étude du système que nous simulons et qu'à cet instant nous ne connaissons que la valeur des niveaux et celle des constantes du modèle, alors :

- les niveaux à l'instant  $J$  et les constantes permettent de calculer les valeurs des différents flux pendant l'intervalle  $JK$ .
- les niveaux à l'instant  $J$ , les flux durant l'intervalle  $JK$  et les constantes permettent de calculer la valeur des niveaux à l'instant  $K$ .

Nous voyons donc que ce processus de hiérarchisation des équations, d'abord les équations de niveau, ensuite les équations auxiliaires, enfin les équations de débit) permet de déterminer, de proche en proche, l'état du système du moment que le processus de calcul a été initialisé par les valeurs des niveaux et les constantes.

Délais :

Un facteur très important dans la circulation des quantités ou des informations dans le réseau est le *délai*. Par exemple, le temps qui s'écoule à partir du moment où on applique une décision (une nouvelle politique) et le moment où ses effets commencent à se sentir.

Notre connaissance est plus précisément celle de la valeur du flux  $S$  en fonction du flux  $E$  et il faut créer dans le modèle une fonction de décision automatique et implicite, qui génère une relation entre l'entrée et la sortie identique à celle constatée dans la réalité. Ces phénomènes,



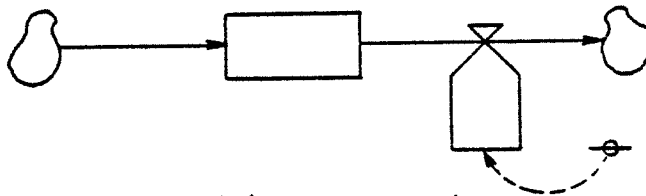
dont nous ne connaissons que l'input et l'output sont assez fréquents et la notion de délai exponentiel créée par Forrester s'avère assez puissante pour traiter presque tous les problèmes qui se présentent.

Délais exponentiels : Ils sont caractérisés par deux quantités

- le délai moyen
- l'ordre du délai

La notion du *délai moyen* est attachée à celle du retard dans le phénomène, quant à l'ordre du délai, il précise la nature dynamique du délai.

Le délai du premier ordre : est l'association d'une équation de niveau et de débit correspondant au schéma.



$$(1) \quad N.K = N.J + DT (E.JK - S.J.K)$$

$$(2) \quad S.JK = \frac{N.J}{D}$$

On voit que sur cette figure le flux de sortie  $S$  ne dépend que de la valeur du niveau  $N$  et du *délai moyen* ; le niveau  $N$  représente la quantité en transit dans le délai.

L'équation (2) qui fixe la valeur du flux de sortie est une fonction de décision implicite, c'est-à-dire par son écriture et son symbolisme, elle est du type équation de débit précédemment définie, mais il faut bien comprendre que son rôle n'est pas de simuler une décision.

Délai d'ordre plus élevé : Après le délai du premier ordre, on peut créer un délai d'ordre  $n$  ; si  $n = 3$  le délai de 3ème ordre sera obtenu en plaçant en cascade 3 délais du 1er ordre, la sortie de l'un étant l'entrée de l'autre.

Les délais exponentiels ne pourront être utilisés que dans les situations dont la présentation schématique isole une entrée et une sortie.

Si les délais exponentiels peuvent être utilisés dans les réseaux des matières physiques, ils peuvent l'être aussi dans le réseau d'information. L'introduction d'un délai exponentiel dans un réseau d'information correspond au fait que la valeur de l'information utilisée est différente de celle enregistrée.

Il arrive parfois que l'on s'intéresse plus spécialement non pas à la valeur brute de l'information, mais à sa moyenne ou à sa tendance. Le procédé qui permet d'obtenir ces valeurs a reçu le nom de *lissage exponentiel*. Le lissage exponentiel peut être représenté par un délai du premier ordre.

L'équation du lissage est  $A_t = \alpha C_t + (1 - \alpha) A_{t-1}$

où

$A$  est la moyenne d'une variable  $C$

$t$  le temps

et  $\alpha$  une constante,  $0 < \alpha < 1$ .

Si nous posons :

$$\alpha = \frac{DT}{ST}$$

on peut écrire :

$$A.K = A.J + \frac{DT}{ST} (C.JK - A.JK)$$

$ST$  le temps de lissage.

Après cette rapide présentation des principes de la modélisation du type "système dynamique", on va présenter le modèle EDU qui simule le flux étudiant.

### 5.5.1. Le modèle

Les niveaux. On commence par la première année. On rappelle que l'on va distinguer entre les étudiants qui sont inscrits pour la première fois et ceux qui redoublent. Ainsi, pour la description de la situation il nous faut deux niveaux ; A1, R1.

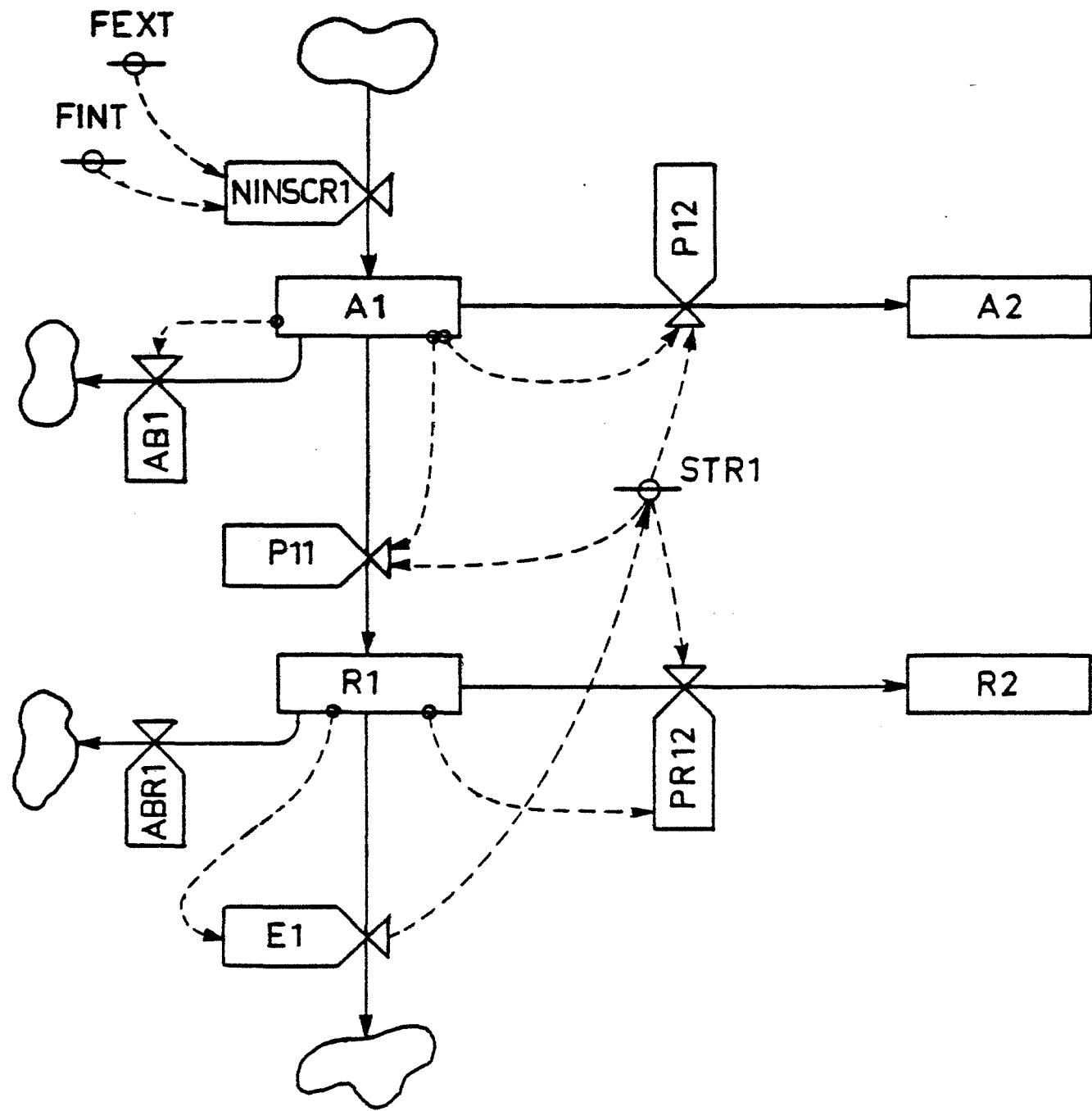
Le mouvement des flux physiques : Au début de l'année un flux alimente le niveau A1 (inscrits pour la première fois). Au cours de l'année un pourcentage d'étudiants abandonne les études (les étudiants qui ne se présentent pas aux examens). A la fin de l'année académique une partie des étudiants, de A1 ou R1, vont passer une seconde année. Une partie des étudiants du niveau A1 va redoubler. Et les étudiants de niveau R1 qui échouent aux examens, seront obligés de quitter l'Université (vu la réglementation existante, concernant les études de premier cycle).

Les débits. On suppose que les mouvements des flux dépendent des "taux de transition" correspondants.

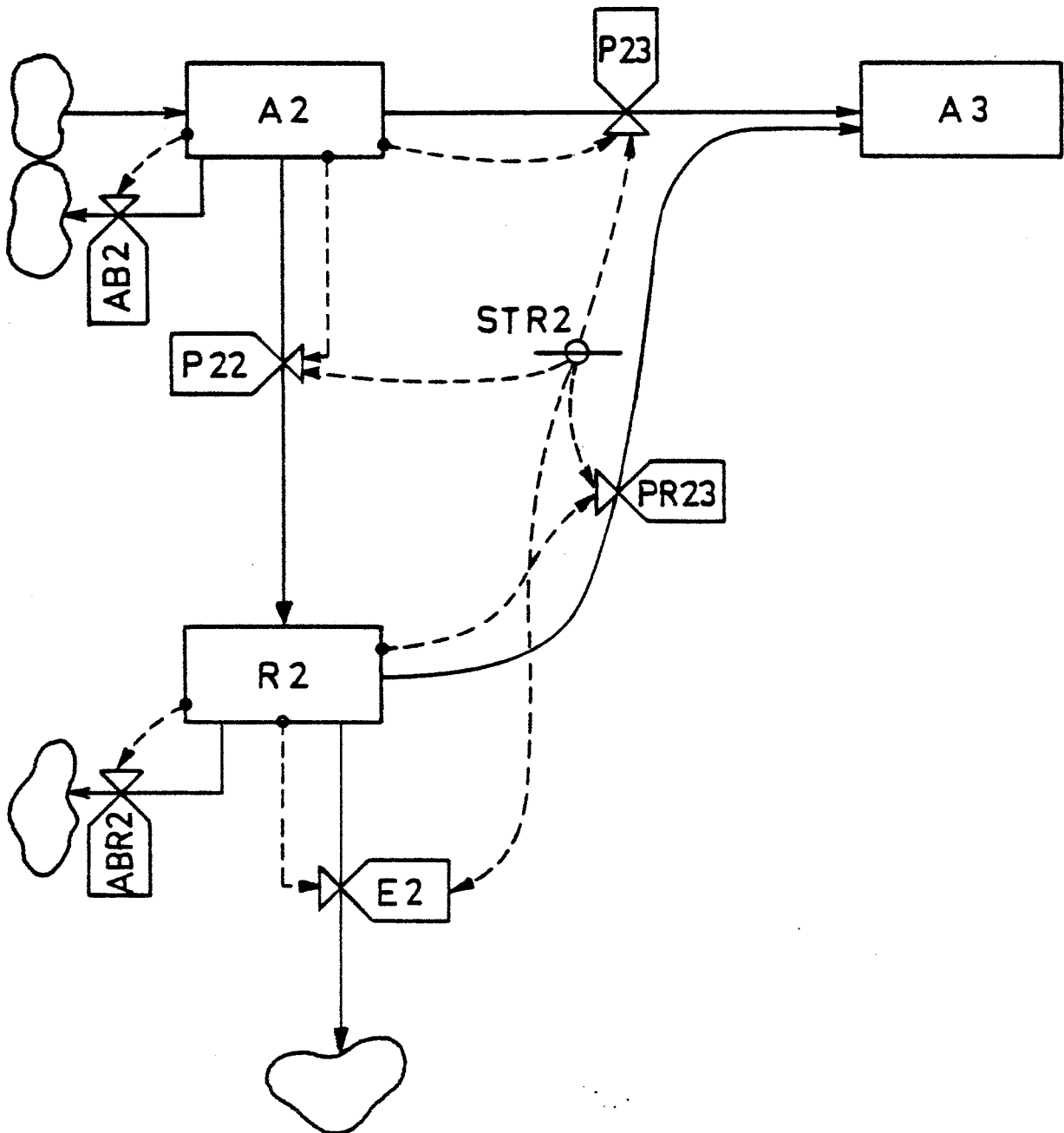
Mais nous passons vite à la description graphique du modèle qui va l'expliquer beaucoup mieux que nous ne pourrions le faire par des mots.



A1	Les nouveaux inscrits
A2	Les étudiants qui sont en deuxième année, sans redoubler
R1	Les redoublants
R2	Etudiants en seconde année qui ont déjà redoublé une fois
NINSCR	Taux des nouveaux inscrits
P11	Taux des redoublants
P12	Taux d'étudiants qui passent en deuxième année sans redoubler
PR12	Taux de réussite des redoublants
E1	Taux d'échec (deux redoublements)
AB1	Taux d'abandons au cours de la première année de scolarité
ABR1	Taux d'abandons parmi les redoublants
STR1	Résume la structure d'enseignement : nombre de professeurs, taux d'encadrement, conditions de travail, bourses, loisirs etc... Ceci dépend en partie de l'Université et en partie du système universitaire au niveau national.
F EXT	Etudiants potentiels et en général les facteurs socio- économiques
F INT	Notoriété de l'Université, disciplines offertes...

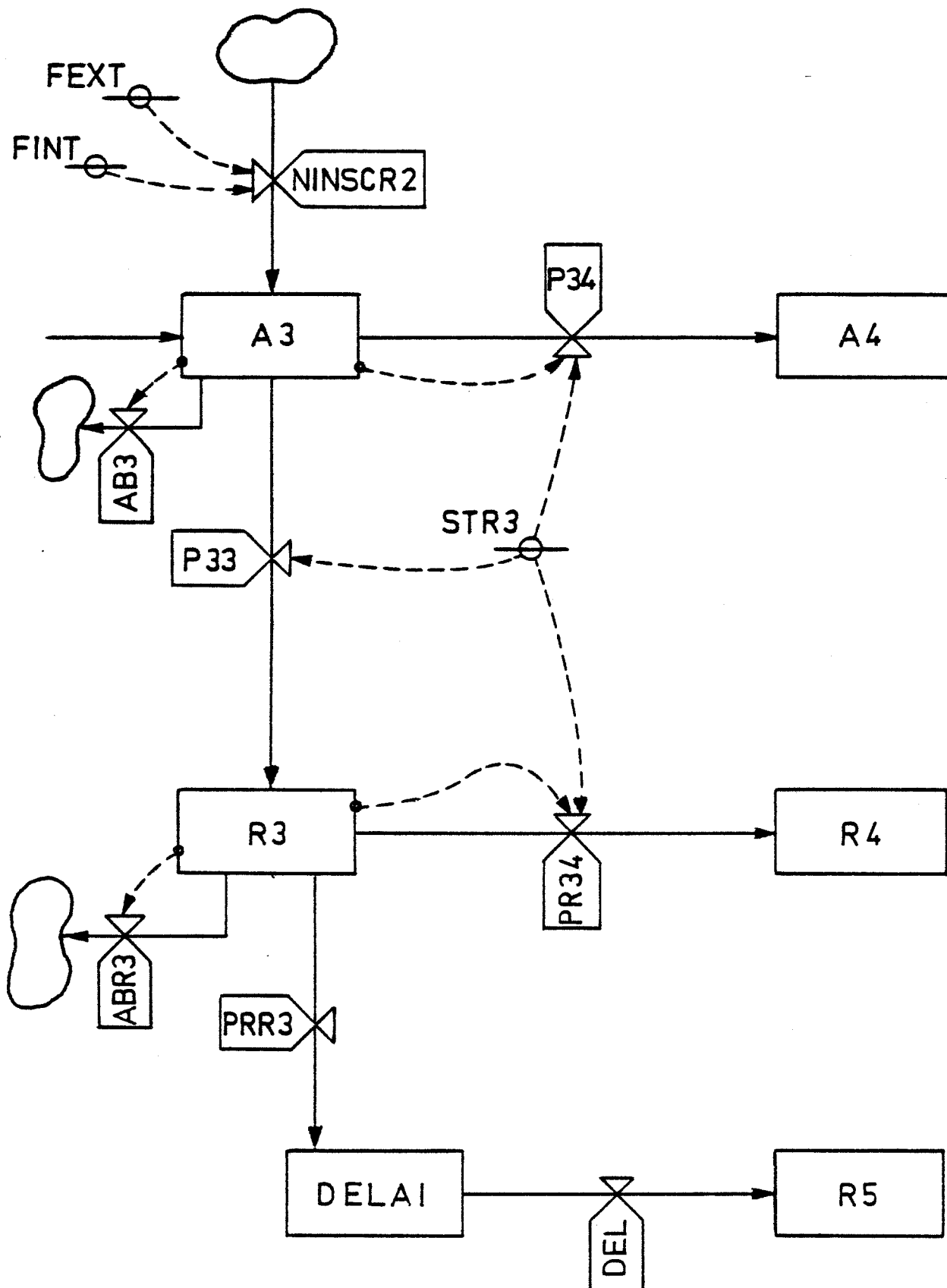


A2	Les étudiants qui sont en deuxième année, sans redoubler
R2	Etudiants en seconde année qui ont déjà redoublé une fois
A3	Les étudiants qui sont en troisième année
P23	Taux d'étudiants qui passent en troisième année, venant de A2
P22	Taux d'étudiants qui redoublent en deuxième année
PR23	Taux d'étudiants qui avaient redoublé la seconde année et qui passent en troisième année
AB2	Taux d'abandons au cours de la seconde année d'études
ABR2	Taux d'abandons au cours de la seconde année parmi les redoublants.
E2	Taux d'échec (les étudiants qui redoublent une seconde fois en premier cycle)
STR2	Structure d'enseignement.

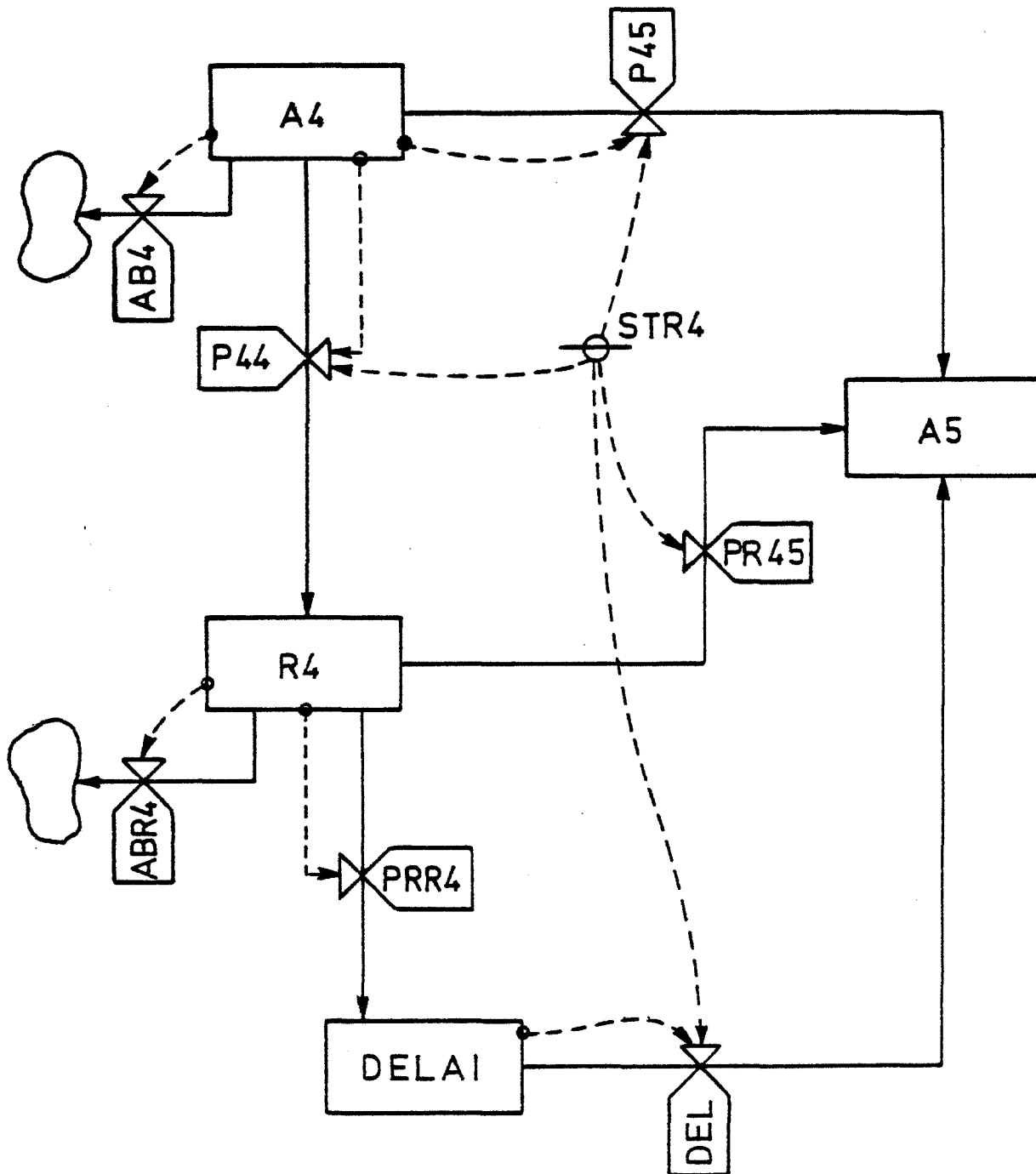




A3	Etudiants en troisième année (première inscription)
R3	Etudiants en troisième année qui ont redoublé une fois
A4	Etudiants en quatrième année qui viennent du niveau A3
R4	Etudiants en quatrième année qui ont redoublé une fois
DELA1	Etudiants qui redoublent au moins deux fois consécutivement
NINSCR2	Taux d'étudiants qui s'inscrivent pour la première fois à l'Université en première année de second cycle
P33	Taux d'étudiants qui redoublent une première fois la première année
P34	Taux d'étudiants qui ont redoublé déjà une fois et qui passent en quatrième année
DEL	Taux d'étudiants "retardataires"
AB3	Taux d'étudiants qui abandonnent au cours de la troisième année
ABR3	Taux d'étudiants qui abandonnent au cours de la troisième année et qui sont redoublants
PRR3	Taux d'étudiants qui redoublent une deuxième fois consécutive (triplent) la troisième année
STR3	Structure d'enseignement



A4	Etudiants en quatrième année qui n'ont pas redoublé
R4	Etudiants en quatrième année qui ont redoublé une fois
DEL	Etudiants qui triplent la quatrième année (ou plus)
A5	Etudiants diplômés
P45	Taux d'étudiants qui prennent leur diplôme venant de A4
P44	Taux d'étudiants qui redoublent la quatrième année
PR45	Taux d'étudiants qui prennent leur diplôme venant de R4
PRR4	Taux d'étudiants qui "triplent" la quatrième année
DEL	Taux d'étudiants retardataires qui obtiennent leur diplôme
AB4	Taux d'abandons pendant la quatrième année
ABR4	Taux d'abandons pendant la quatrième année, parmi les redoublants
STR4	Structure d'enseignement

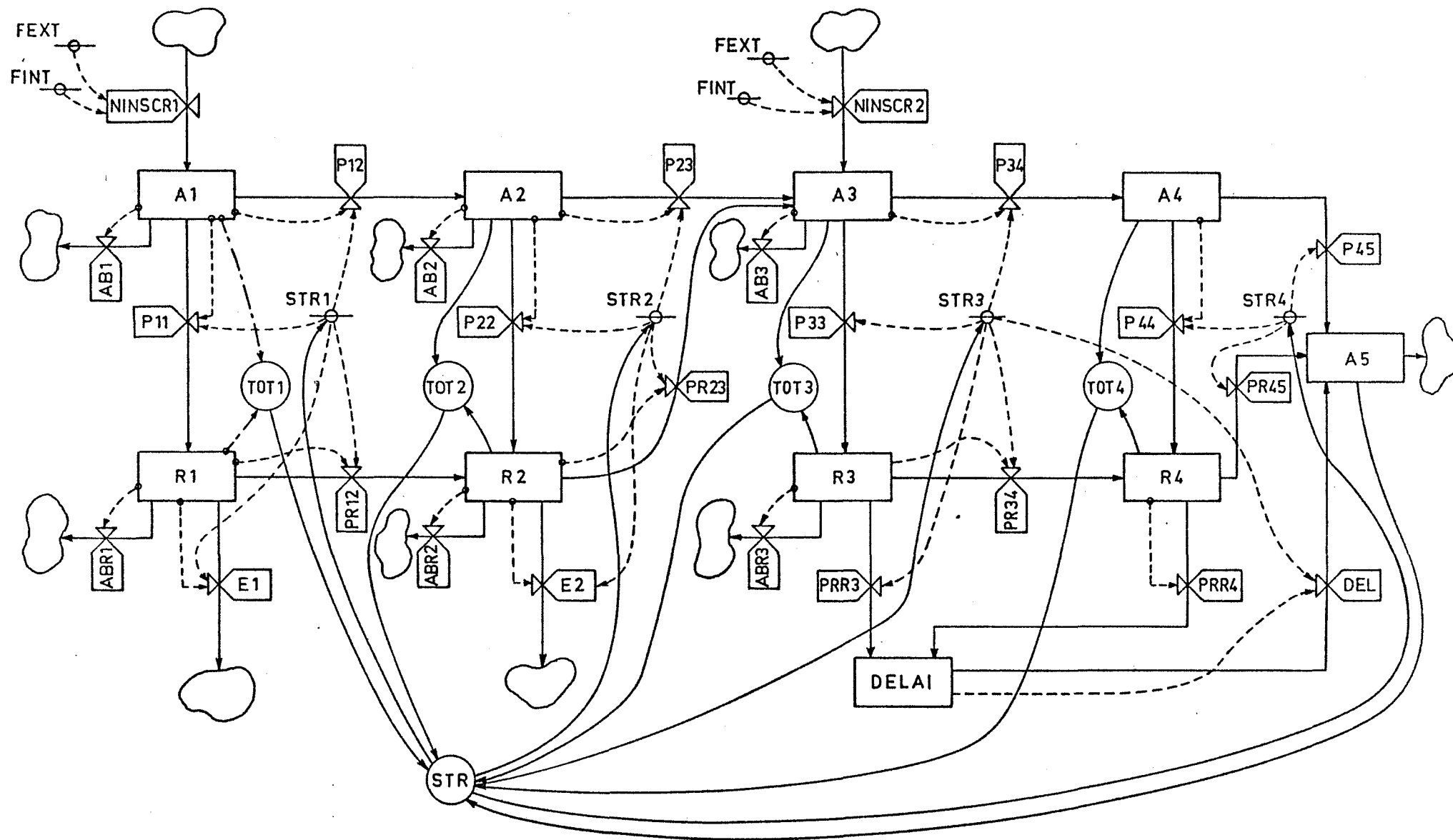


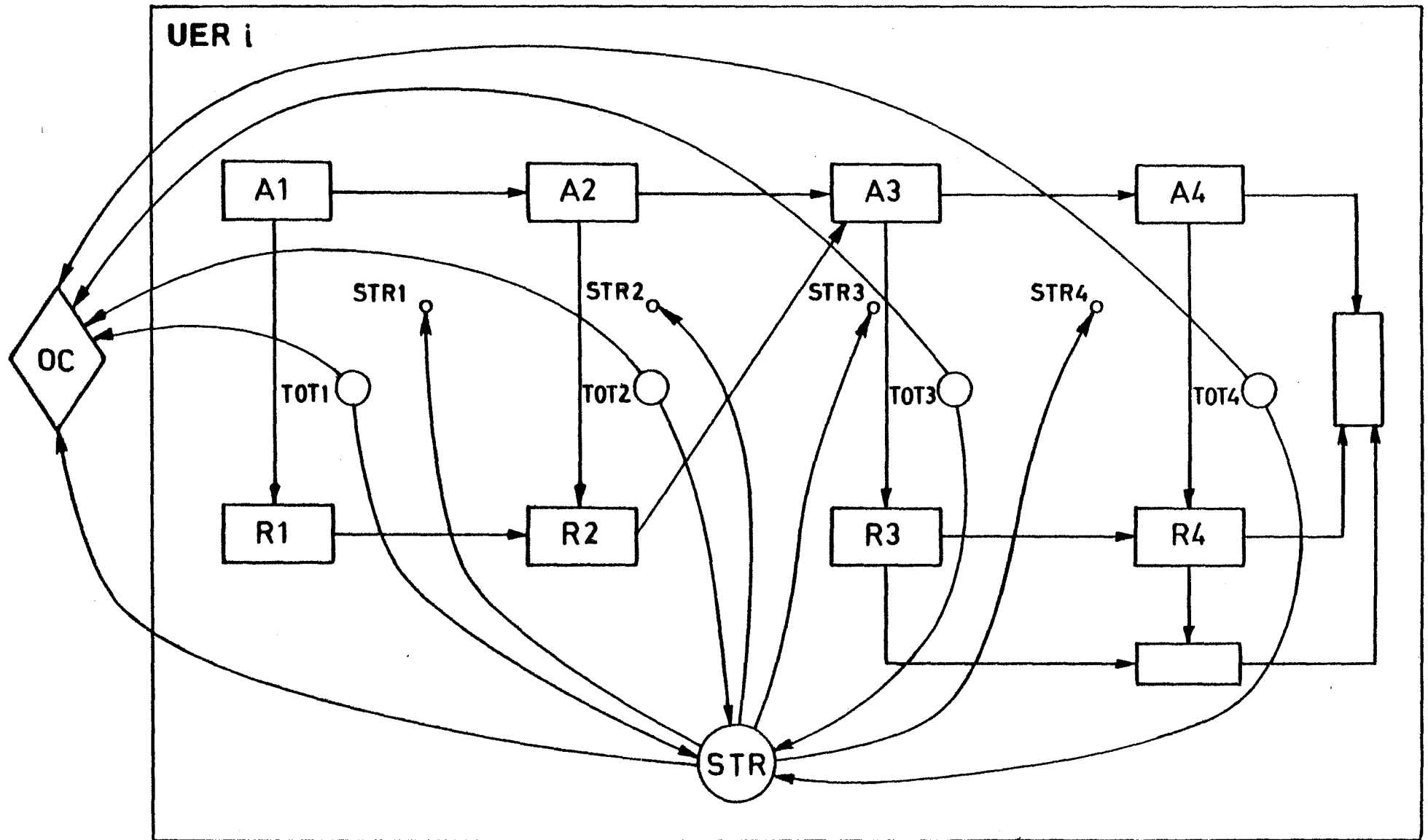
Remarque

Il n'y a aucune restriction sur le nombre d'années durant lesquelles on peut prolonger ses études en second cycle. Ceci évidemment pose déjà un premier problème pour distinguer entre les étudiants qui abandonnent définitivement l'Université et ceux qui interrompent leurs études pour des raisons diverses et qui les reprennent quelques années plus tard.

Une autre difficulté est la possibilité de tenir compte des étudiants qui "redoublent" plusieurs fois. Pour tenir compte de cette catégorie d'étudiants on introduit un "délai" de troisième ordre.

Le même type de situation se présente aussi, pour la quatrième année. Ainsi dans notre modèle on considère un niveau " DELAI " qui reçoit les étudiants de R3 ou R4.





Avantages

La description du problème qui nous intéresse, le "flux étudiant" est nettement améliorée, en utilisant le symbolisme de Forrester : les notions de niveau, de taux et flux. Le modèle devient plus transparent, suscite des questions et surtout, ce qui nous paraît fondamental, il peut être facilement communiqué et compris par toutes les personnes qui ont leur mot à dire dans l'Université.

On peut suivre facilement le comportement du système pendant les états transitoires. En effet, très souvent une politique à l'état stable est optimale, mais elle peut être rejetée à cause d'un comportement transitoire non acceptable.

Un effort particulier est consacré à la signification des paramètres, et on peut mieux préciser les facteurs qui influencent les possibilités de transition. Les paramètres doivent être considérés comme des valeurs moyennes, et on devra utiliser plusieurs valeurs pour saisir la signification derrière la variance de chaque paramètre.

On peut ainsi mieux préciser comment on peut intervenir et l'impact de cette intervention sur les probabilités de transition.

On va présenter maintenant quelques illustrations du modèle.



1111 MODIFICATION VALEURS INITIALES

1 LISTE VALEURS INITIALES

2 MODIFICATION

3 FIN

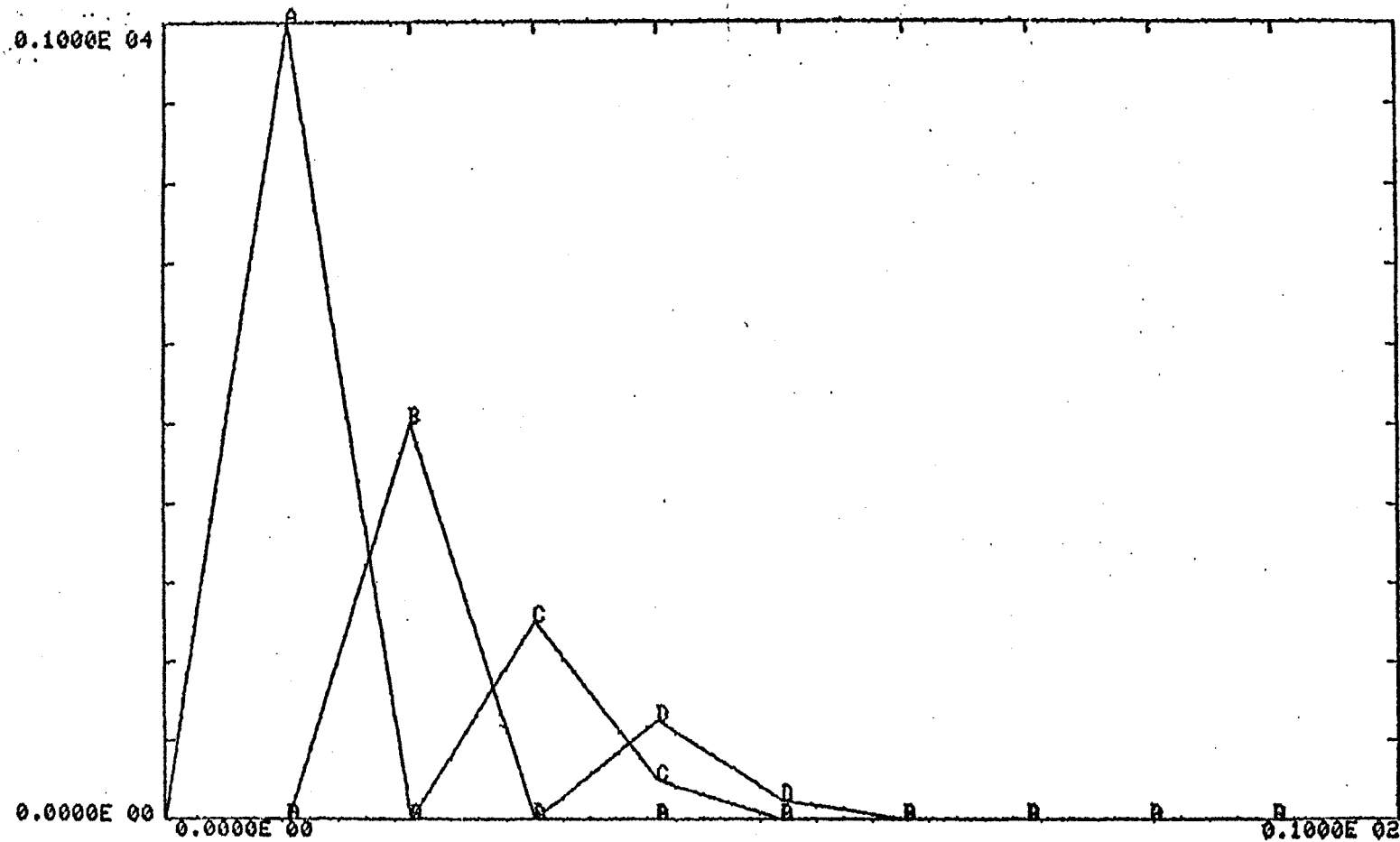
A1	-	0.0000E	00
INSCR	-	0.1000E	04
A2	-	0.0000E	00
P12	-	0.0000E	00
A3	-	0.0000E	00
P23	-	0.0000E	00
PR23	-	0.0000E	00
A4	-	0.0000E	00
P34	-	0.0000E	00
R1	-	0.0000E	00
P11	-	0.0000E	00
R2	-	0.0000E	00
PR12	-	0.0000E	00
P28	-	0.0000E	00
P3	-	0.0000E	00
P33	-	0.0000E	00
R4	-	0.0000E	00
PR34	-	0.0000E	00
P44	-	0.0000E	00
A5	-	0.0000E	00
RS4	-	0.0000E	00
RRS4	-	0.0000E	00
TOT1	-	0.0000E	00
TOT2	-	0.0000E	00
TOT3	-	0.0000E	00
TOT4	-	0.0000E	00
TOT5	-	0.0000E	00
TOT	-	0.0000E	00
INS	-	0.0000E	00
I	-	0.0000E	00
II	-	0.0000E	00
R	-	0.0000E	00
PP11	-	0.1000E	02
PP12	-	0.5000E	02
PPR12	-	0.5000E	02
PP22	-	0.1000E	02
PP23	-	0.5000E	02
PPR23	-	0.5000E	02
PP33	-	0.1000E	02
PP34	-	0.5000E	02
PPR34	-	0.5000E	02
PP44	-	0.1000E	02
PPS34	-	0.5000E	02
PPRS4	-	0.5000E	02

1111 MODIFICATION VALEURS INITIALES

1 LISTE VALEURS INITIALES

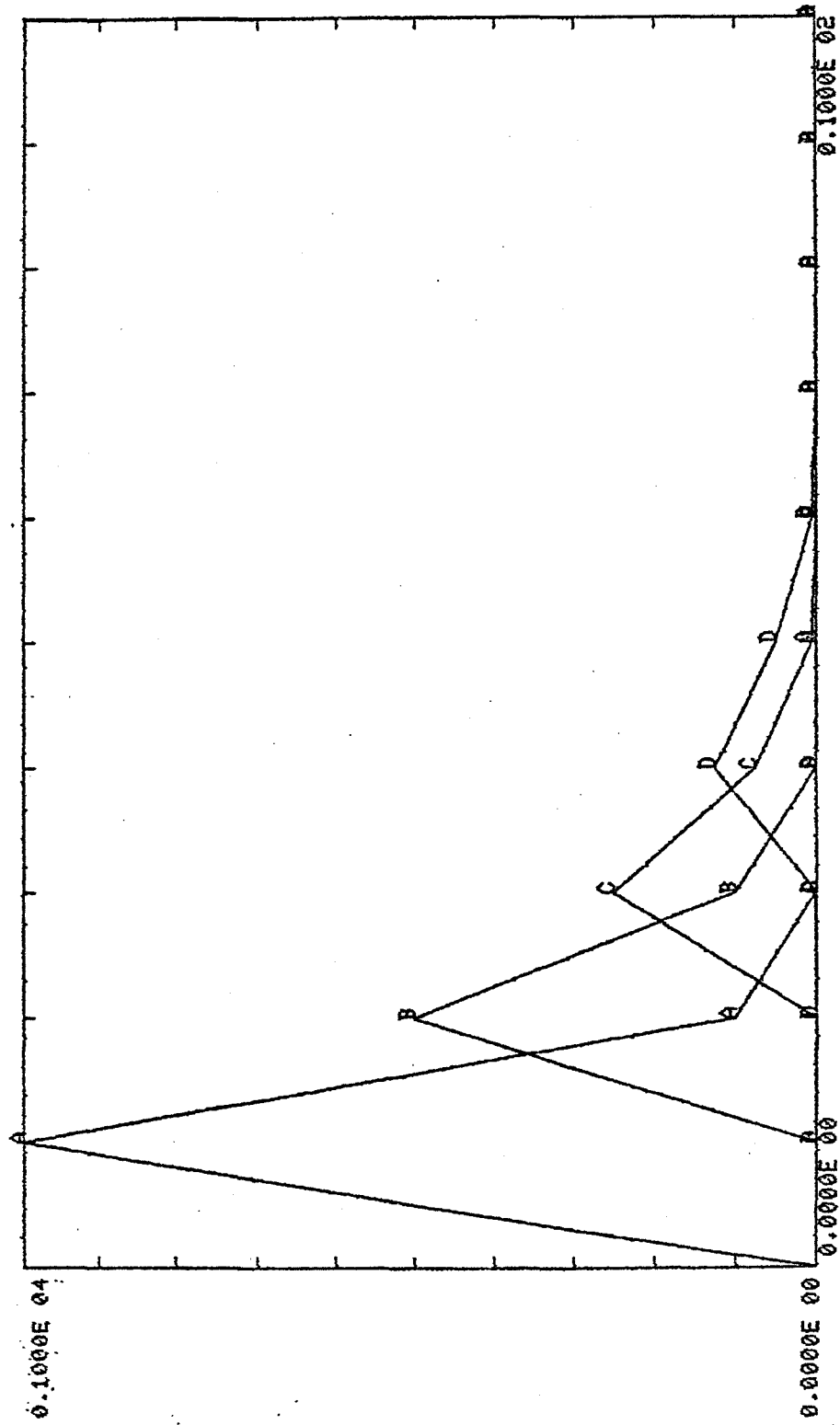
2 MODIFICATION

3 FIN



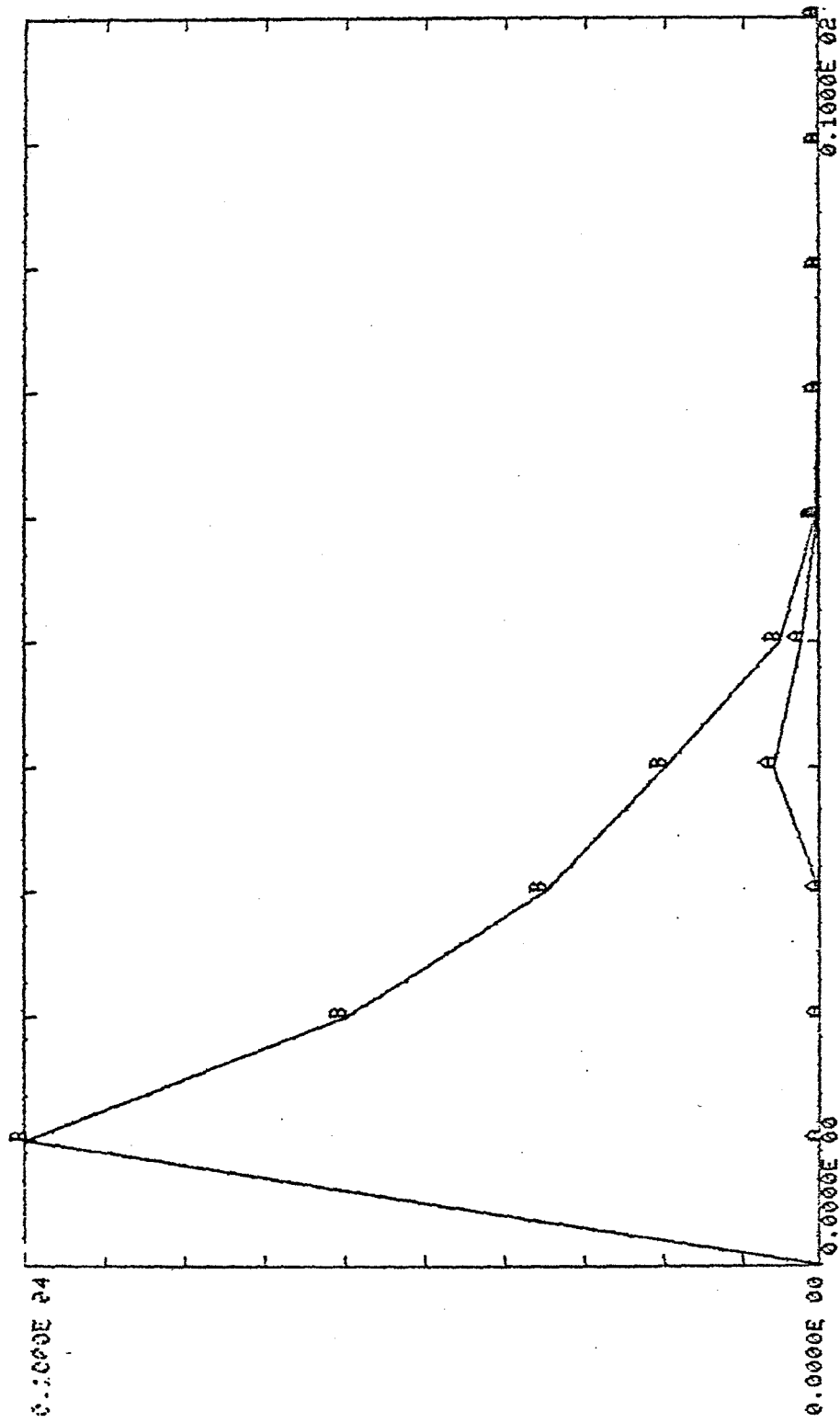
AUTRE COURBE

A	A1	MIN 0.0000E 00	MAX 0.1000E 04
B	A2	MIN 0.0000E 00	MAX 0.5000E 03
C	A3	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2500E 03
D	A4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.1250E 03



A	TOT1	MIN 0.0000E 00	MAX 0.1000E 04
B	TOT2	MIN 0.0000E 00	MAX 0.5000E 03
C	TOT3	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2500E 03
D	TOT4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.1250E 03

AUTRE COURBE



A TOT5 MIN 0.0000E 00 MAX 0.6250E 02  
 B TOT MIN 0.0000E 00 MAX 0.1000E 04

AUTRE COURBE

DONNEES : SCIENCES ECO. NOUVEAUX INSCRITS : 200 / AN

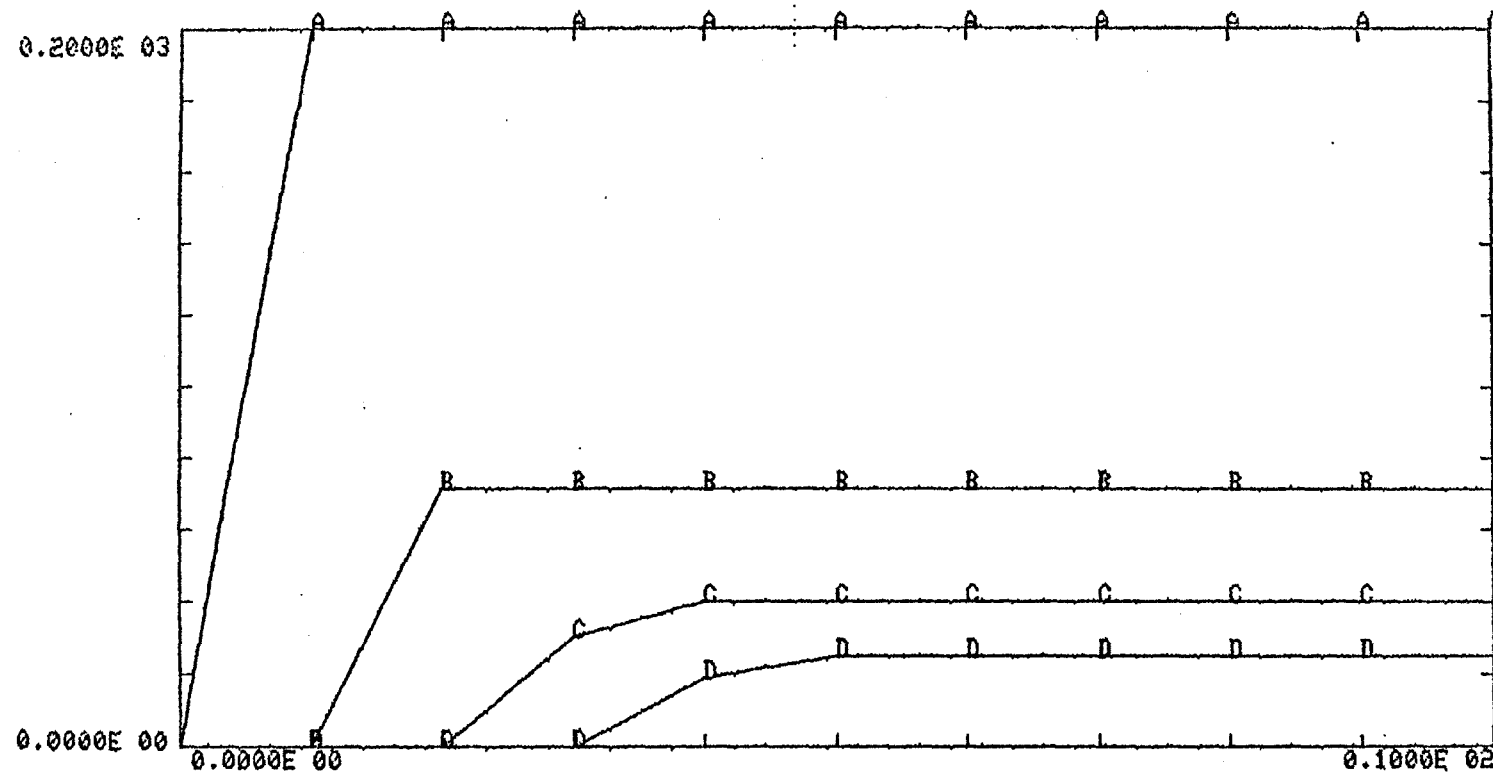
4U  
4

#### MODIFICATION VALEURS INITIALES  
1 LISTE VALEURS INITIALES  
2 MODIFICATION  
3 FIN

1

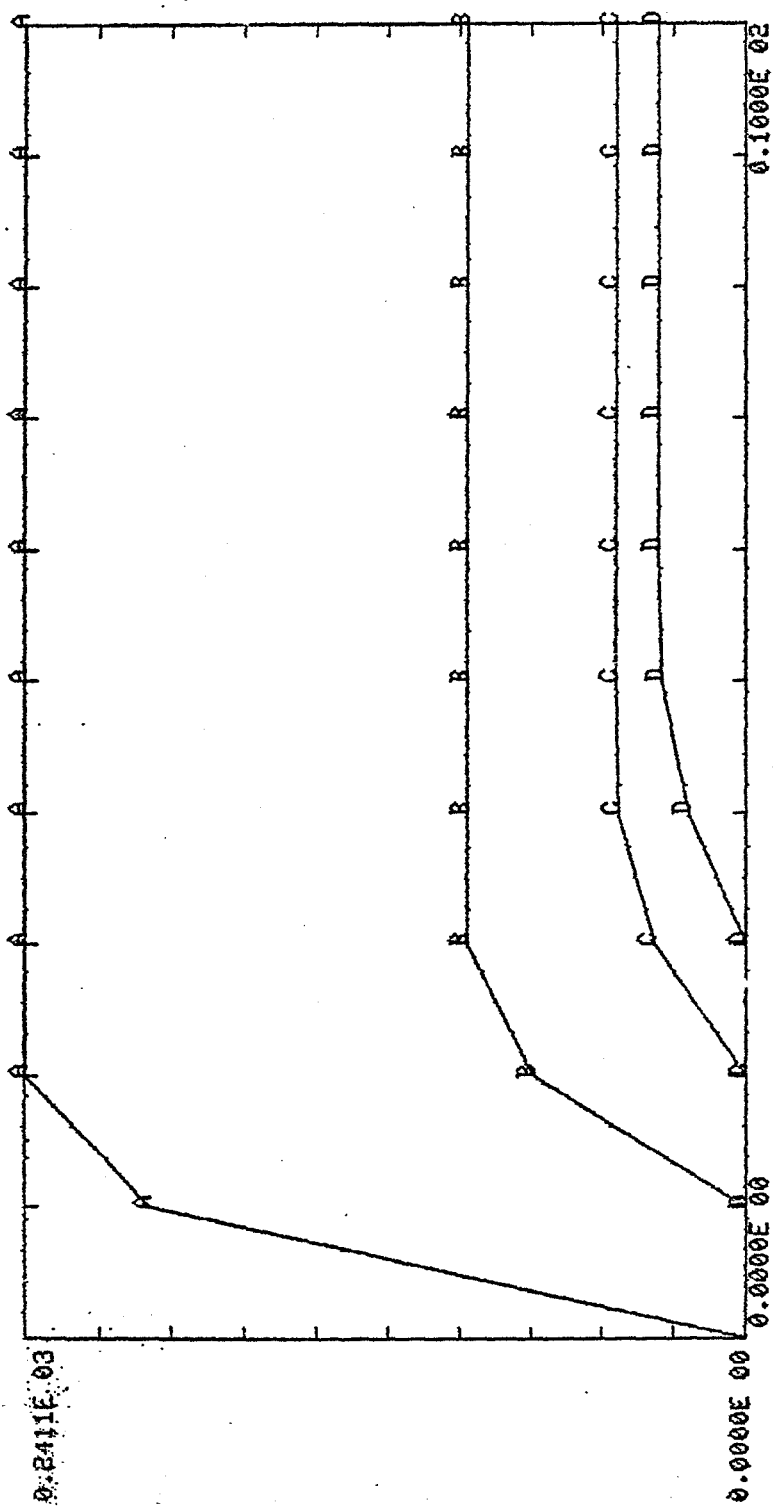
A1	*	0.0000E 00
INSCR	*	0.2000E 03
A2	*	0.0000E 00
P12	*	0.0000E 00
A3	*	0.0000E 00
P23	*	0.0000E 00
PR23	*	0.0000E 00
A4	*	0.0000E 00
P34	*	0.0000E 00
R1	*	0.0000E 00
P11	*	0.0000E 00
R2	*	0.0000E 00
PR12	*	0.0000E 00
P22	*	0.0000E 00
R3	*	0.0000E 00
P33	*	0.0000E 00
R4	*	0.0000E 00
PR34	*	0.0000E 00
P44	*	0.0000E 00
A5	*	0.0000E 00
RS4	*	0.0000E 00
RRS4	*	0.0000E 00
TOT1	*	0.0000E 00
TOT2	*	0.0000E 00
TOT3	*	0.0000E 00
TOT4	*	0.0000E 00
TOT5	*	0.0000E 00
TOT	*	0.0000E 00
INS	*	0.2000E 03
I	*	0.0000E 00
II	*	0.0000E 00
R	*	0.0000E 00
PP11	*	0.2054E 02
PP12	*	0.3567E 02
PPR12	*	0.3567E 02
PP22	*	0.1091E 02
PP23	*	0.4272E 02
PPR23	*	0.4272E 02
PP33	*	0.8600E 01
PP34	*	0.6236E 02
PPR34	*	0.6236E 02
PP44	*	0.3000E 01
PRS4	*	0.7000E 02
PPRS4	*	0.7000E 02

#### MODIFICATION VALEURS INITIALES  
1 LISTE VALEURS INITIALES  
2 MODIFICATION



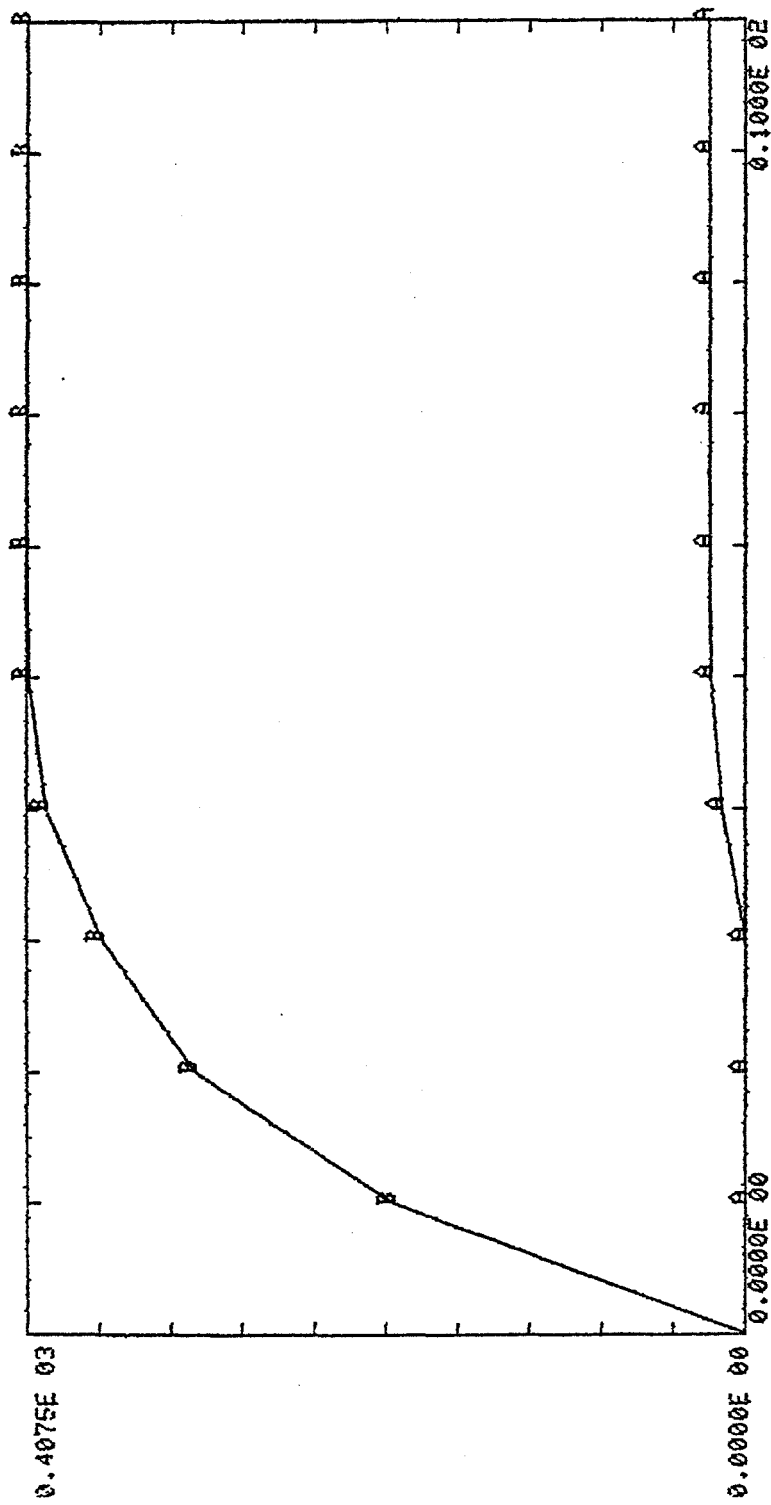
AUTRE COURBE

A	A1	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2000E 03
B	A2	MIN 0.0000E 00	MAX 0.7134E 02
C	A3	MIN 0.0000E 00	MAX 0.4006E 02
D	A4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2498E 02



A	TOT1	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2411E 03
B	TOT2	MIN 0.0000E 00	MAX 0.9378E 02
C	TOT3	MIN 0.0000E 00	MAX 0.4351E 02
D	TOT4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.2913E 02

AUTRE COURBE



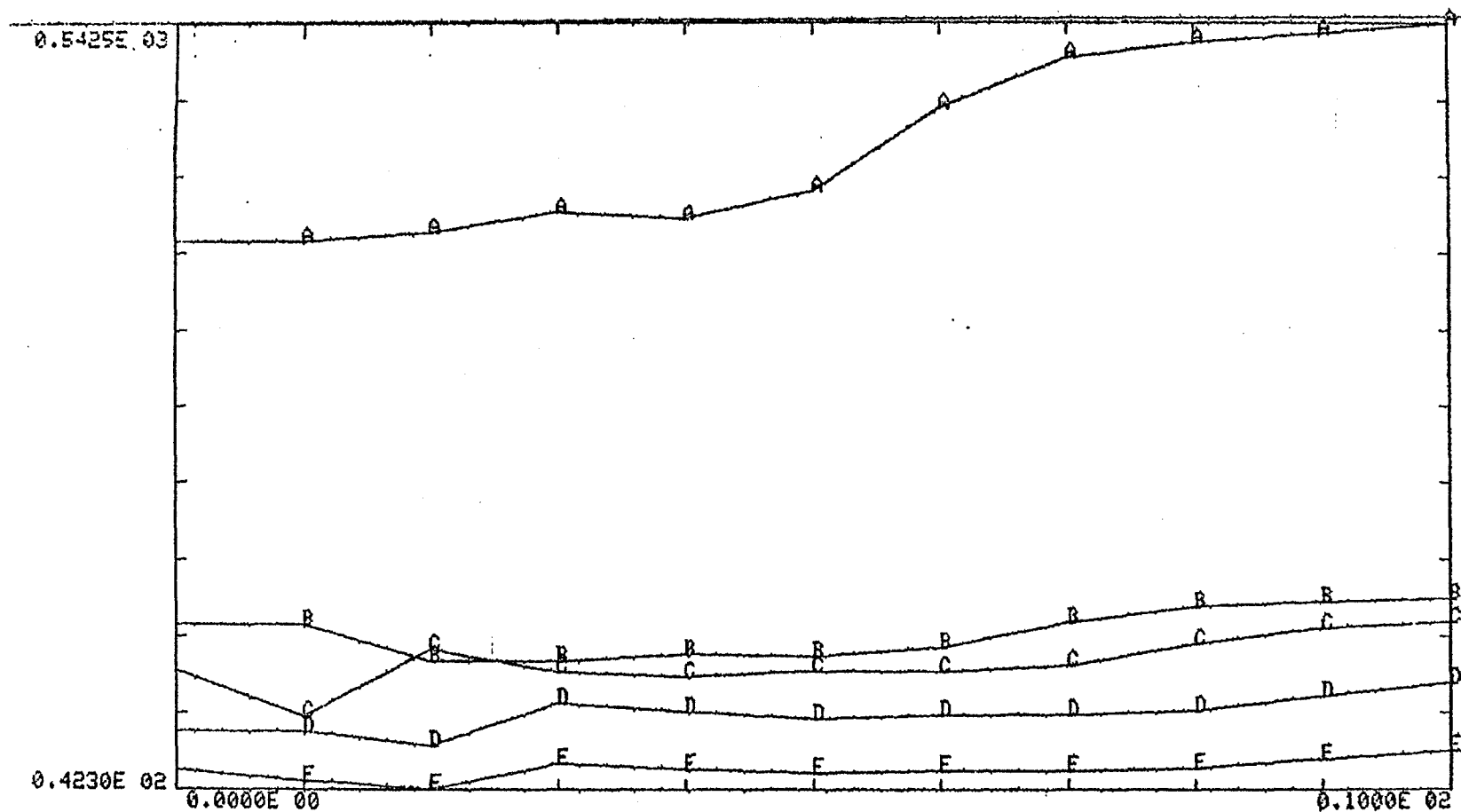
A TOT5 MIN 0.0000E 00 MAX 0.2039E 02  
 B TOT MIN 0.0000E 00 MAX 0.4075E 03

AUTRE COURBE



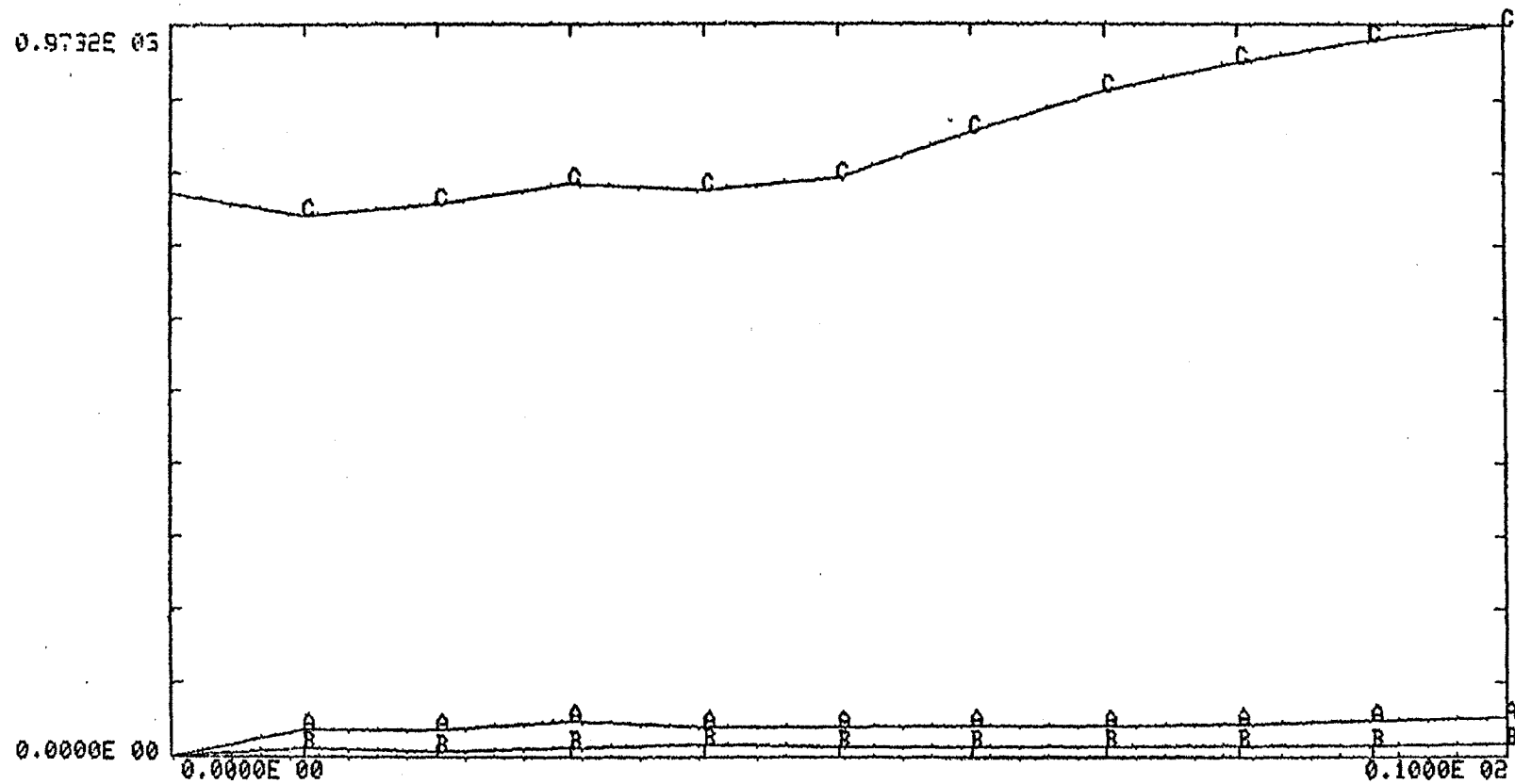
ISCR	0.0000E	00
A2	0.3000E	03
P12	0.0000E	00
A3	0.1200E	03
P23	0.0000E	00
PR23	0.9000E	02
A4	0.0000E	00
P34	0.0000E	00
R1	0.6000E	02
P11	0.0000E	00
R2	0.1000E	03
PR12	0.0000E	00
P22	0.0000E	00
R3	0.3000E	02
P33	0.0000E	00
R4	0.0000E	00
PR34	0.0000E	00
P44	0.2000E	02
A5	0.0000E	00
RS4	0.0000E	00
RR54	0.0000E	00
TOT1	0.0000E	00
TOT2	0.4000E	03
TOT3	0.1500E	03
TOT4	0.1200E	03
TOT5	0.8000E	02
TOT	0.5500E	02
POP	0.7500E	03
PP11	TABLE	
PP12	0.2500E	02
PPR12	0.3000E	02
PP22	0.3000E	02
PP23	0.5000E	01
PPR23	0.8000E	02
PP33	0.3000E	02
PP34	0.1500E	02
PPR34	0.6500E	02
PP44	0.6500E	02
PRS34	0.2000E	02
PPR54	0.6000E	02
PPR54	0.6000E	02

### MODIFICATION VALEURS INITIALES  
 1. LISTE VALEURS INITIALES  
 2. MODIFICATION  
 3. FIN



A	TOT1	MIN 0.4000E 03	MAX 0.5425E 03
B	TOT2	MIN 0.1260E 03	MAX 0.1673E 03
C	TOT3	MIN 0.9000E 02	MAX 0.1517E 03
D	TOT4	MIN 0.7050E 02	MAX 0.1118E 03
E	TOT5	MIN 0.4230E 02	MAX 0.6709E 02

AUTRE COURBE



A	RS4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.5054E 02
B	RRS4	MIN 0.0000E 00	MAX 0.1654E 02
C	TOT	MIN 0.7200E 03	MAX 0.9732E 03

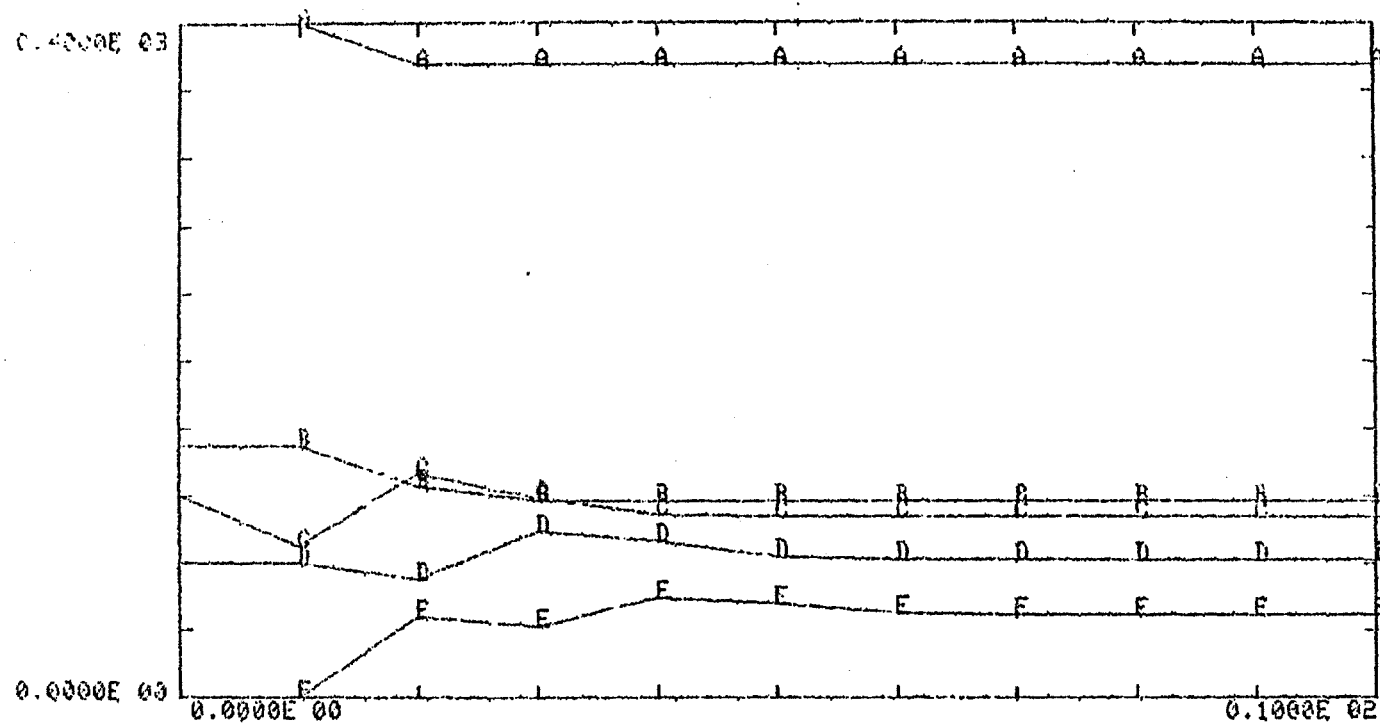
AUTRE COURBE

NINSCR, Stationnaires, 300/an.

175

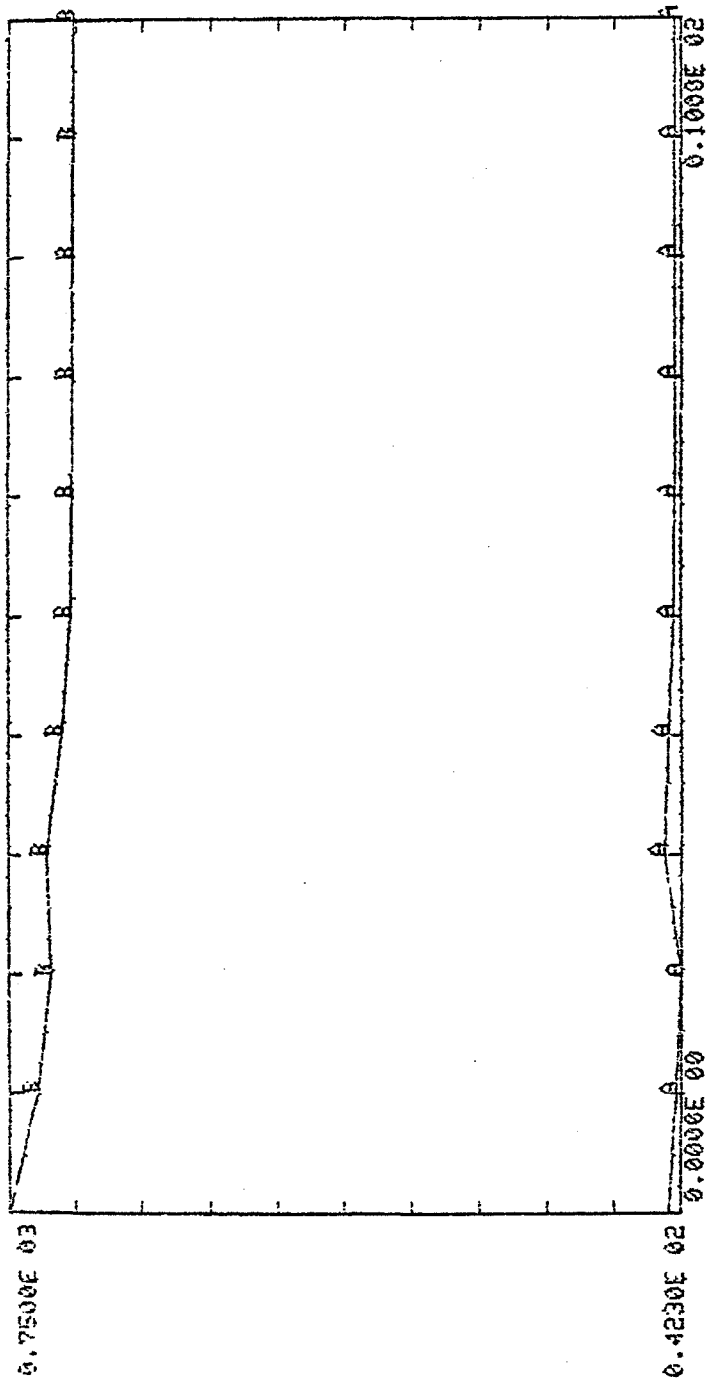
A1	0.0000E	00
INSCR	0.3000E	03
A2	0.0000E	00
P12	0.1200E	03
A3	0.0000E	00
P23	0.9000E	02
PR23	0.0000E	00
A4	0.0000E	00
P34	0.6000E	02
R1	0.0000E	00
P11	0.1000E	03
R2	0.0000E	00
FR12	0.0000E	00
P22	0.3000E	02
R3	0.0000E	00
P33	0.0000E	00
R4	0.0000E	00
PR34	0.0000E	00
P44	0.2000E	02
A5	0.0000E	00
RS4	0.0000E	00
RRS4	0.0000E	00
TOT1	0.4000E	03
TOT2	0.1500E	03
TOT3	0.1200E	03
TOT4	0.8000E	02
TOT5	0.5500E	02
TOT	0.7500E	03
INS	0.3000E	03
PP11	0.2500E	02
PP12	0.3000E	02
PPR12	0.3000E	02
PP22	0.5000E	01
PP23	0.8000E	02
PPR23	0.8000E	02
PP33	0.1500E	02
PP34	0.6500E	02
PPR34	0.6500E	02
PP44	0.2000E	02
PPS34	0.6000E	02
PPRS4	0.6000E	02

\$\$\$ MODIFICATION VALEURS INITIALES  
1 LISTE VALEURS INITIALES  
2 MODIFICATION  
3 FIN



A	TOT1	MIN	0.3750E 03	MAX	0.4000E 03
B	TOT2	MIN	0.1170E 03	MAX	0.1500E 03
C	TOT3	MIN	0.9000E 02	MAX	0.1335E 03
D	TOT4	MIN	0.7050E 02	MAX	0.9847E 02
E	A5	MIN	0.0000E 00	MAX	0.5903E 02

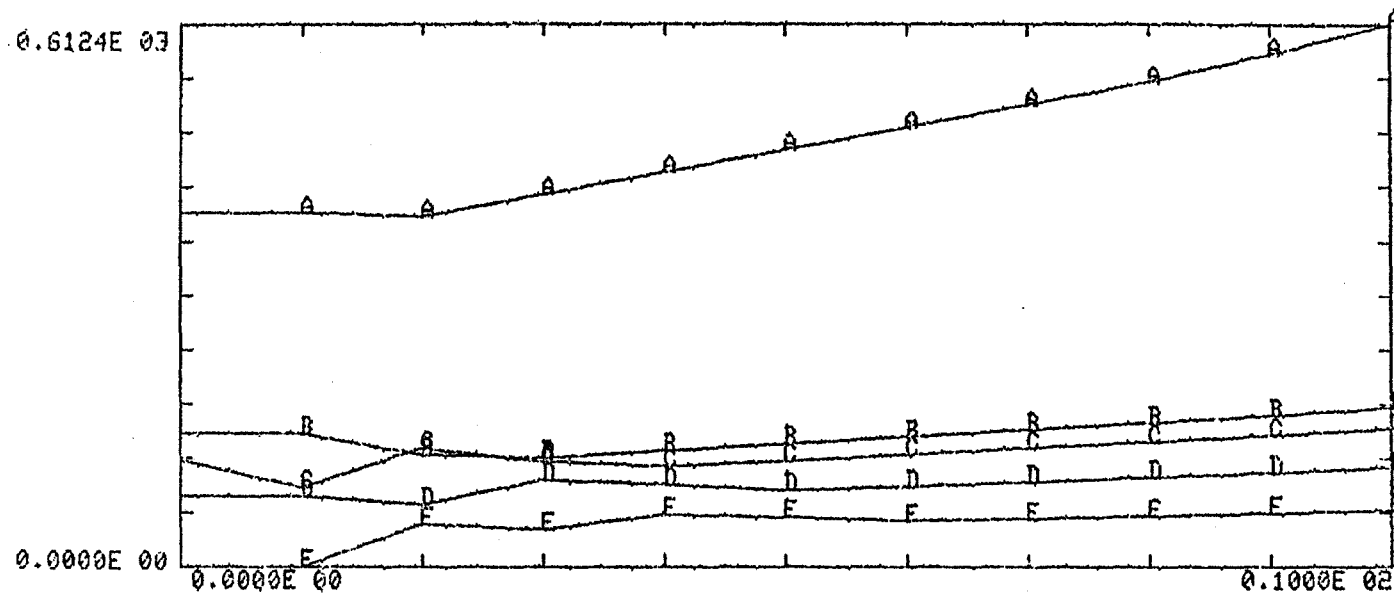
AUTRE COURBE



A TOT5 MIN 0.4230E 02 MAX 0.5908E 02  
 B TOT MIN 0.6818E 03 MAX 0.7500E 03

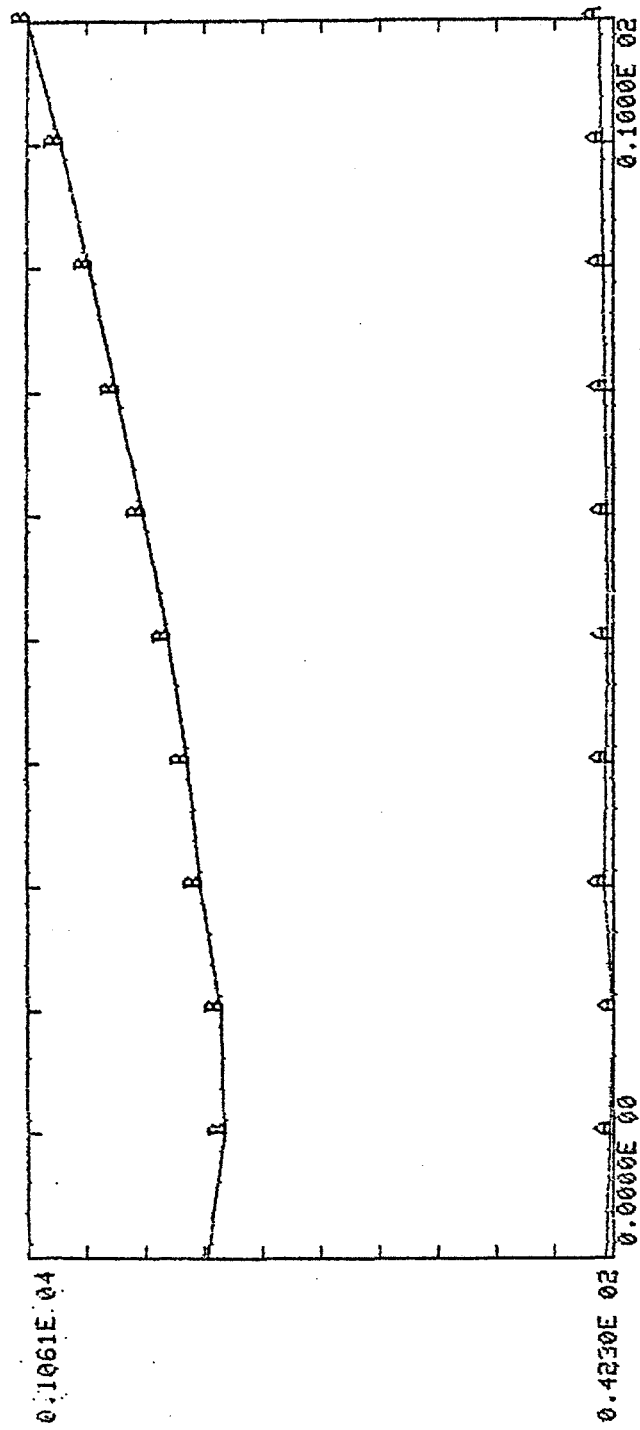
AUTRE COURSE

Augmentation linéaire des effectifs,  
mêmes données



A	TOT1	MIN 0.3950E 03	MAX 0.6124E 03
B	TOT2	MIN 0.1230E 03	MAX 0.1800E 03
C	TOT3	MIN 0.9000E 02	MAX 0.1559E 03
D	TOT4	MIN 0.7050E 02	MAX 0.1124E 03
E	A5	MIN 0.0000E 00	MAX 0.6412E 02

AUTRE COURBE

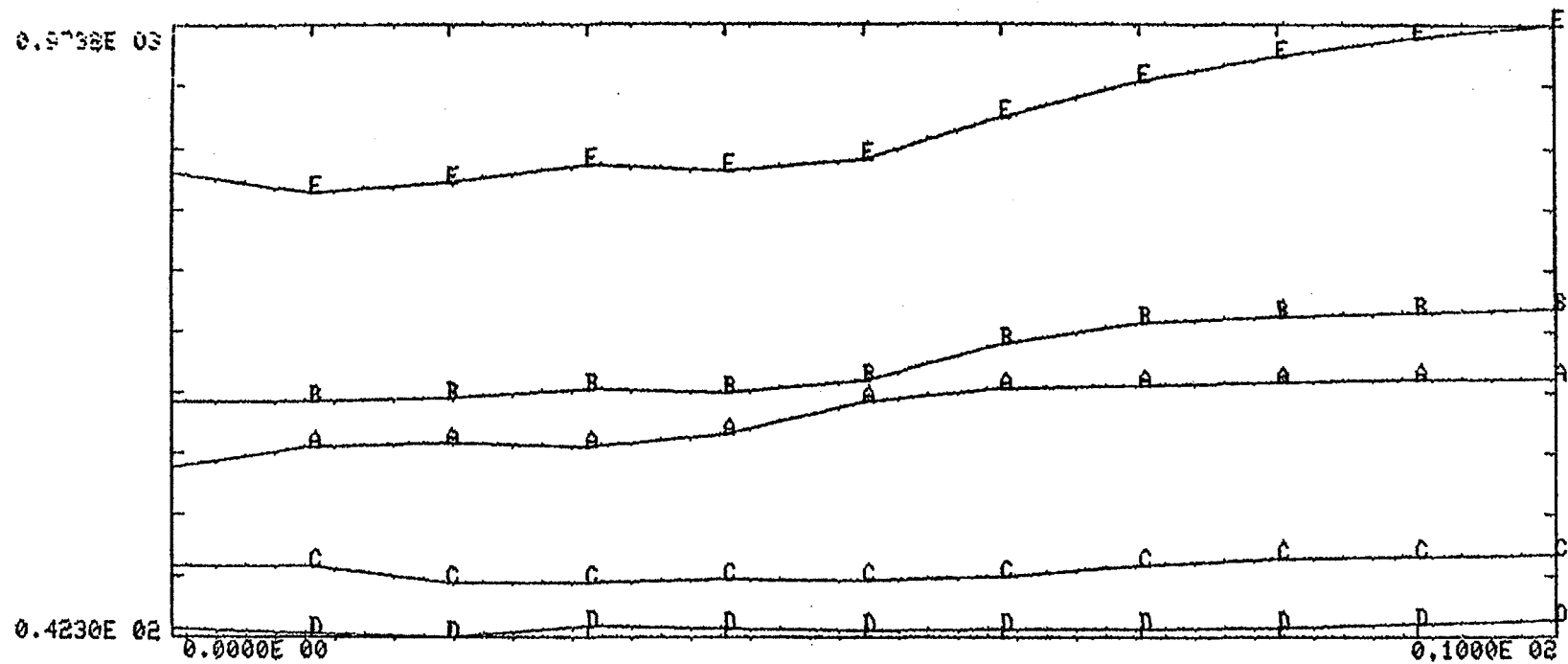


A	TOT5	MIN 0.4230E 02	MAX 0.6745E 02
B	TOT	MIN 0.7200E 03	MAX 0.1061E 04

AUTRE COURBE



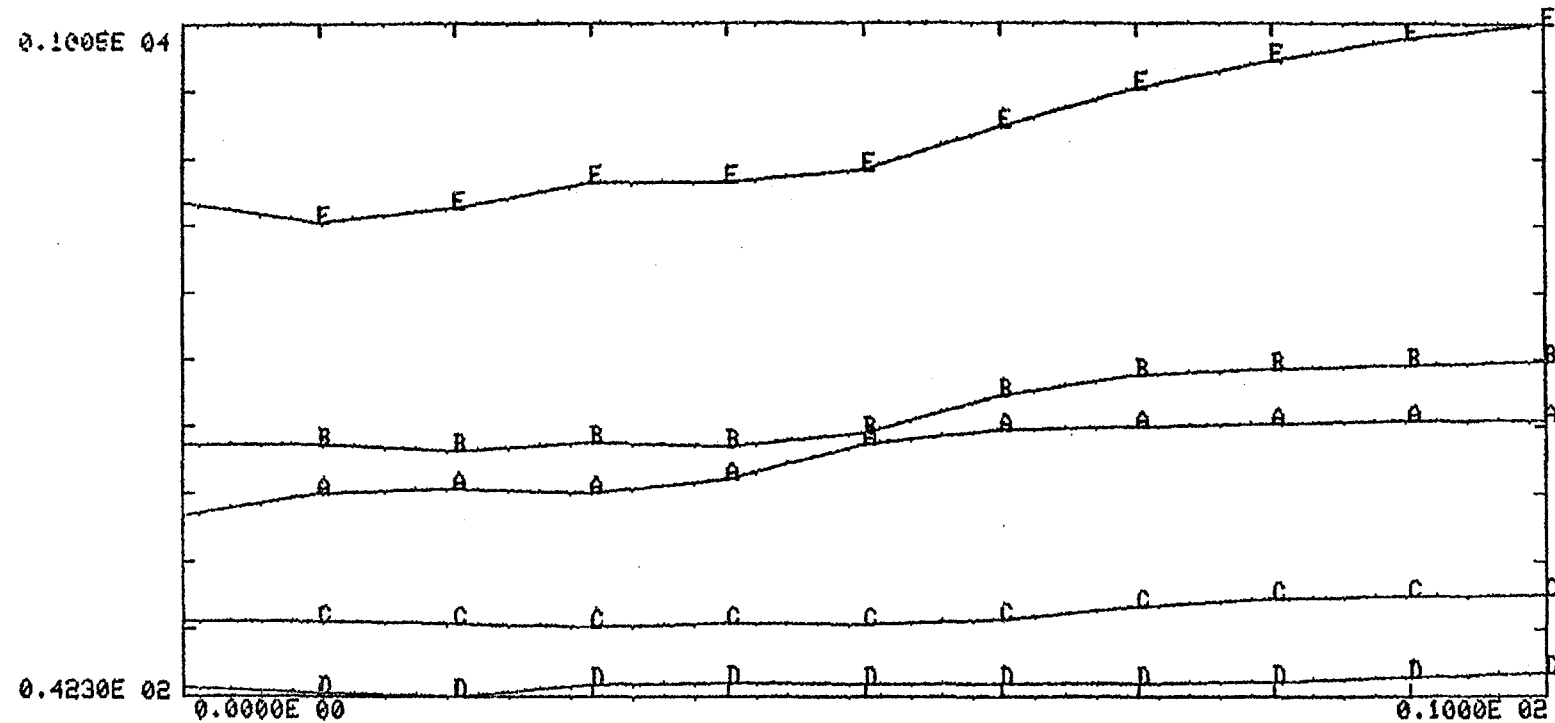
Passage "normal"



A	INSCR	MIN 0.3000E 03	MAX 0.4360E 03
B	TOT1	MIN 0.4000E 03	MAX 0.5425E 03
C	TOT2	MIN 0.1260E 03	MAX 0.1673E 03
D	TOT5	MIN 0.4230E 02	MAX 0.6709E 02
E	TOT	MIN 0.7200E 03	MAX 0.9732E 03

AUTRE COURBE

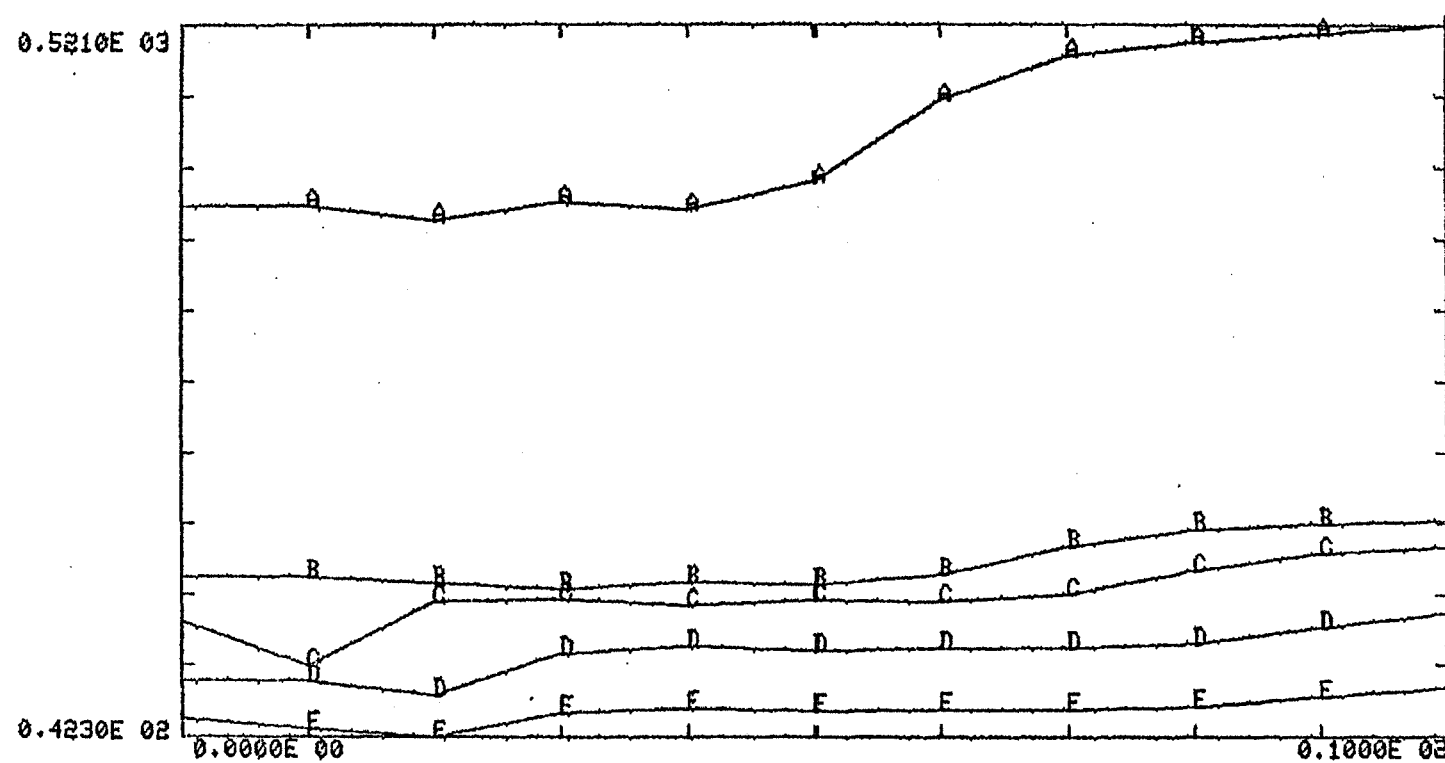
(I) Tx redoublement en 1ère année 20 % ; Tx de réussite 35 %



A	INSCR	MIN 0.3000E 03	MAX 0.4360E 03
B	TOT1	MIN 0.3900E 03	MAX 0.5210E 03
C	TOT2	MIN 0.1418E 03	MAX 0.1877E 03
D	TOT5	MIN 0.4230E 02	MAX 0.7542E 02
E	TOT	MIN 0.7200E 03	MAX 0.1005E 04

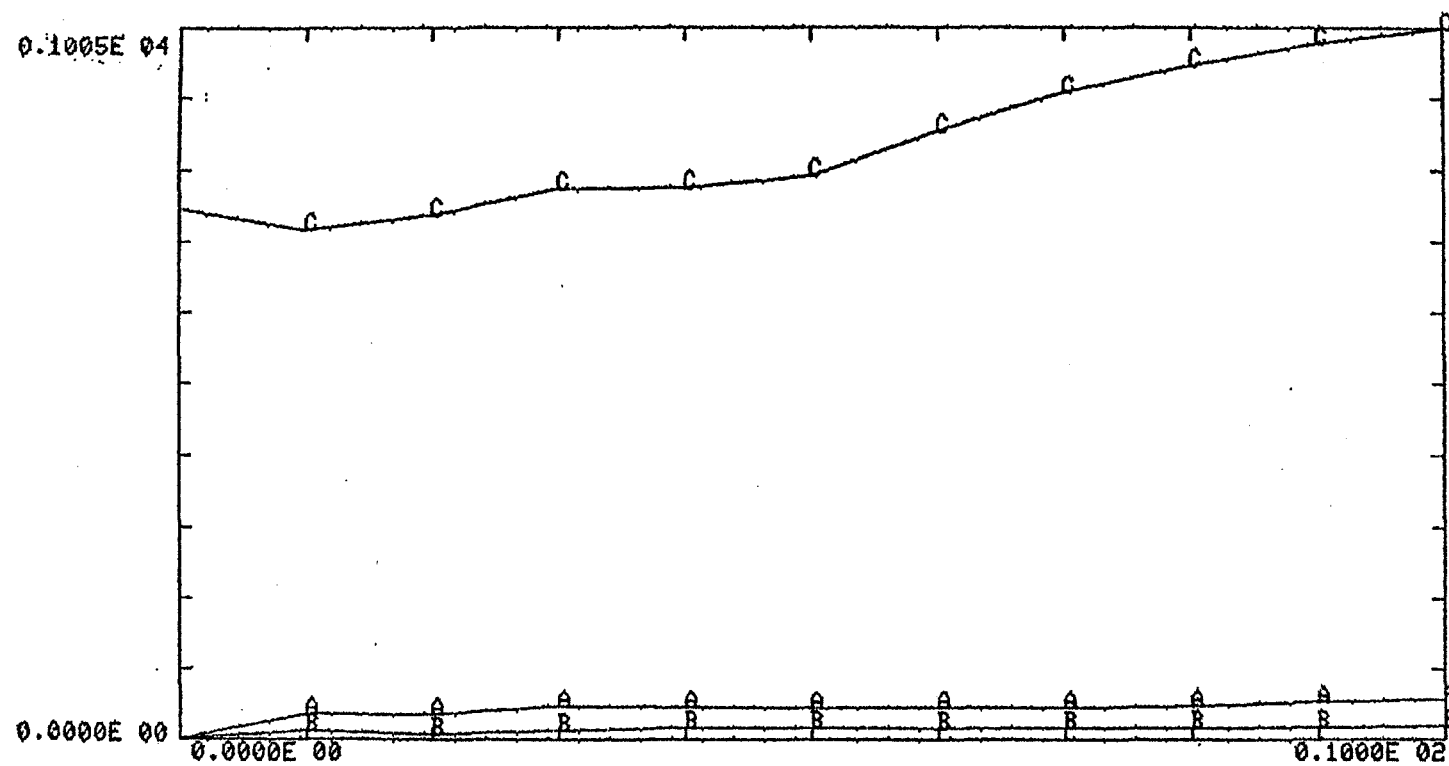
AUTRE COURBE

(I) suite : Tx redoublement 1ère année 20 % ; Tx de réussite 1ère année 35 %



A	TOT1	MIN 0,3900E 03	MAX 0.5210E 03
B	TOT2	MIN 0,1418E 03	MAX 0.1877E 03
C	TOT3	MIN 0,9000E 02	MAX 0.1702E 03
D	TOT4	MIN 0,7050E 02	MAX 0.1257E 03
E	TOT5	MIN 0,4230E 02	MAX 0.7542E 02

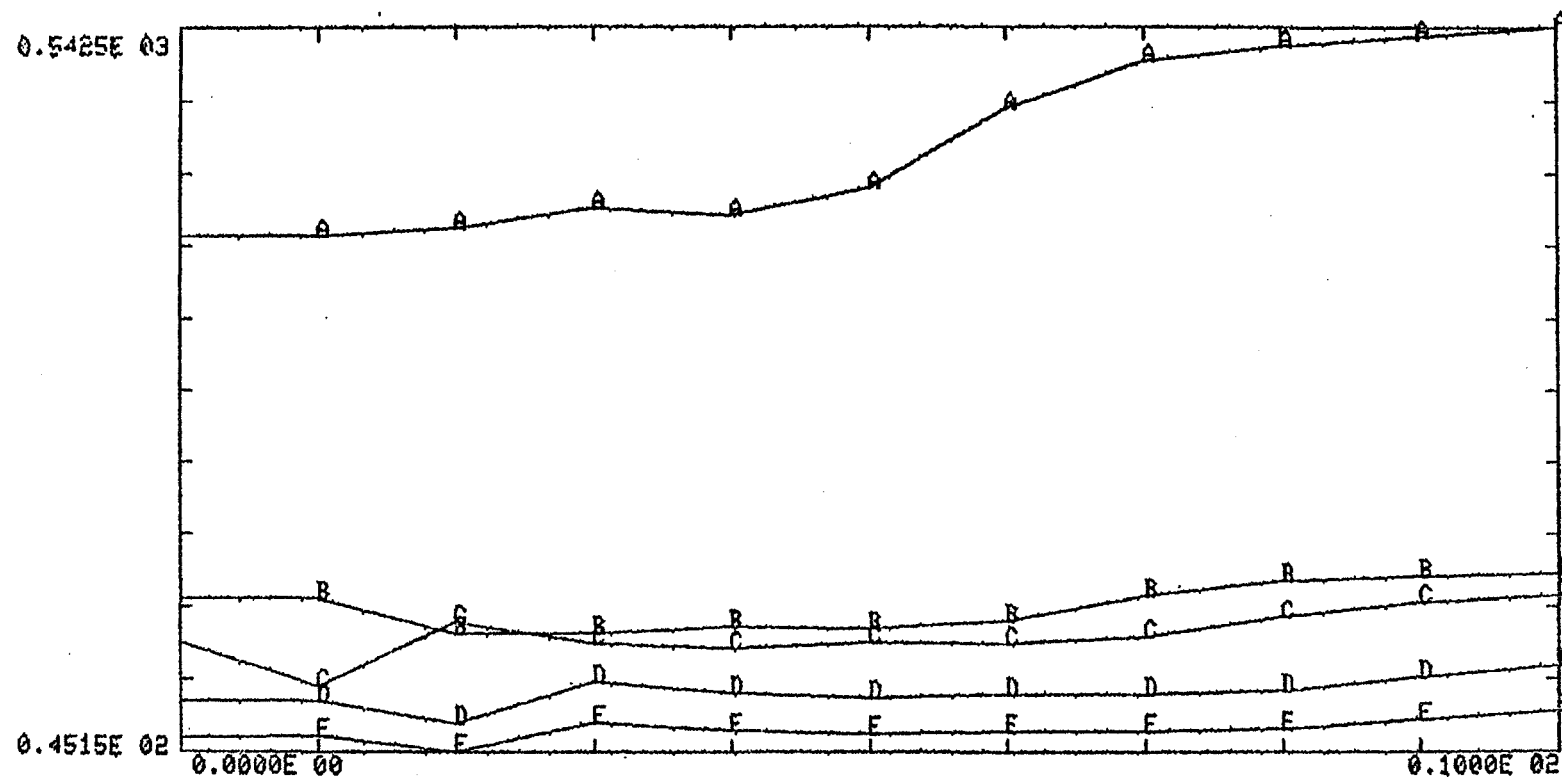
AUTRE COURBE



A RS4      MIN 0.0000E 00    MAX 0.5678E 02  
 B RRS4     MIN 0.0000E 00    MAX 0.1863E 02  
 C TOT      MIN 0.7200E 03    MAX 0.1005E 04

AUTRE COURBE

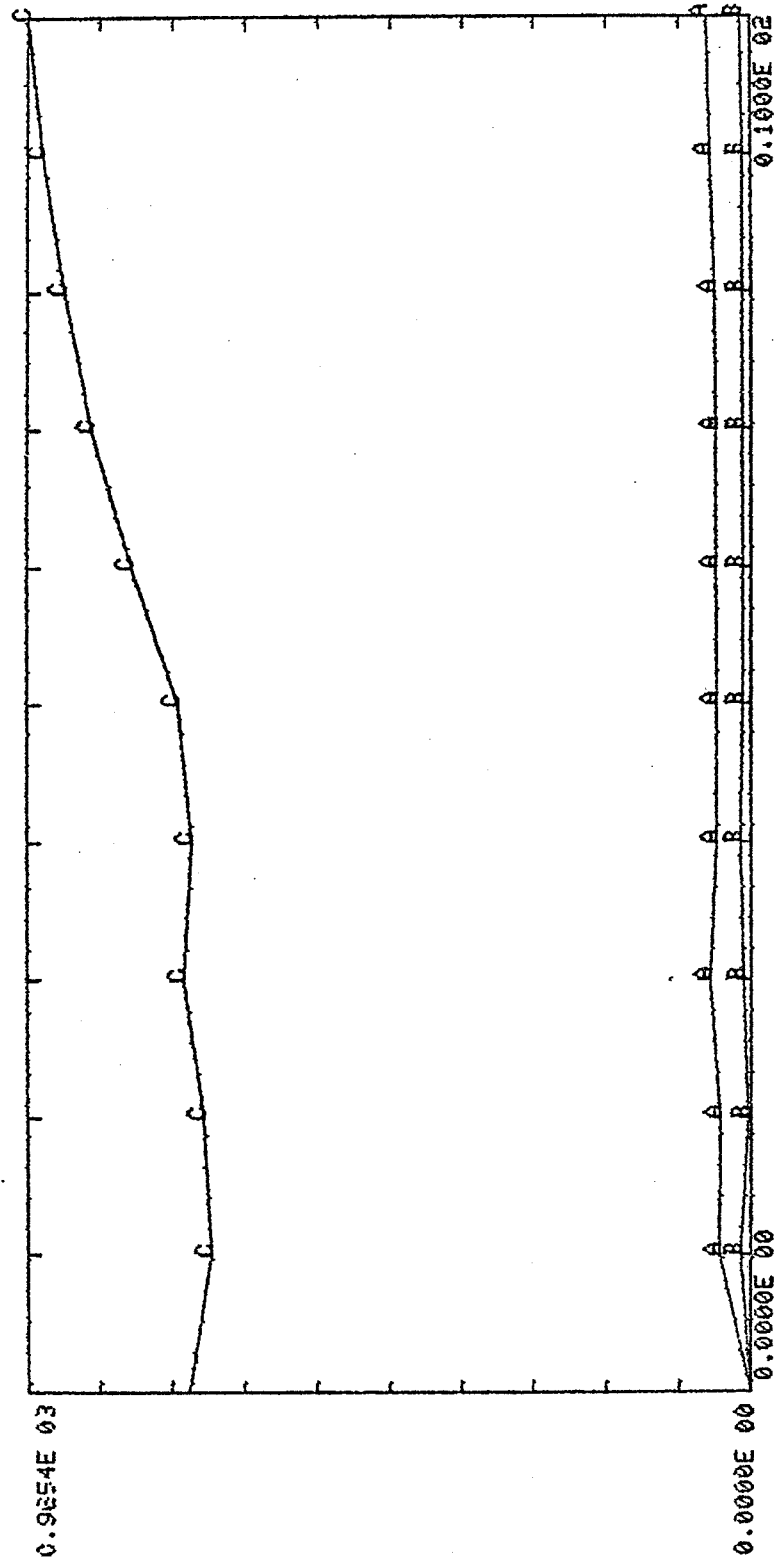
(II) dt = 10 ans ; (Tx redoublement 10 % ; Diplômés 70 %) pour la 4e année.



A	TOT1	MIN 0.4000E 03	MAX 0.5425E 03
B	TOT2	MIN 0.1260E 03	MAX 0.1673E 03
C	TOT3	MIN 0.9000E 02	MAX 0.1517E 03
D	TOT4	MIN 0.6450E 02	MAX 0.1039E 03
E	TOT5	MIN 0.4515E 02	MAX 0.7275E 02

AUTRE COURBE

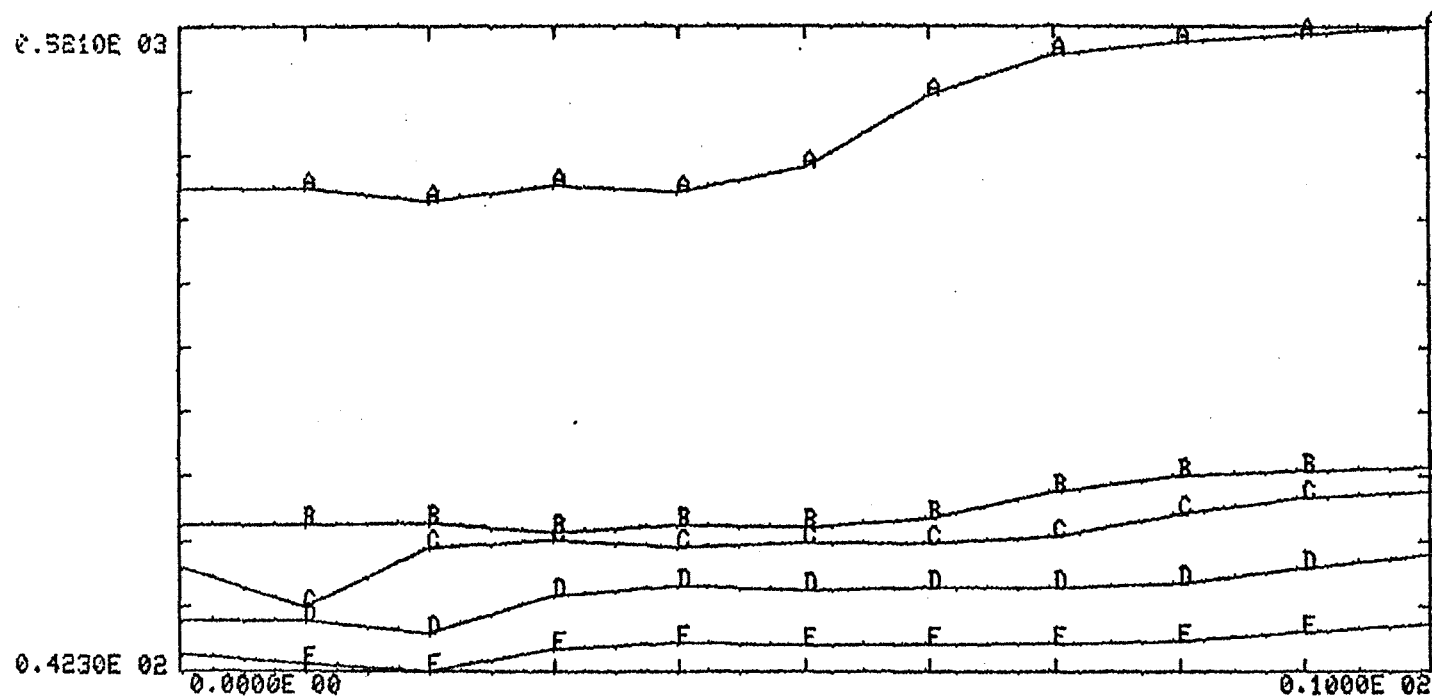
(II) Suite



	MIN	0.0000E 00	MAX	0.5897E 02
A RS4	MIN	0.0000E 00	MAX	0.1400E 02
B RS4	MIN	0.7200E 03	MAX	0.9654E 03
C TOT				

AUTRE COURBE

(III) 1ère année Tx redoublement 20 % ; réussite 35 % de non redoublants.



A	TOT1	MIN 0.3900E 03	MAX 0.5210E 03
B	TOT2	MIN 0.1448E 03	MAX 0.1919E 03
C	TOT3	MIN 0.9000E 02	MAX 0.1741E 03
D	TOT4	MIN 0.7050E 02	MAX 0.1284E 03
E	TOT5	MIN 0.4230E 02	MAX 0.7705E 02

AUTRE COURBE





### 5.6. Demandes d'enseignement

Une fois la répartition de la population étudiante calculée, dans le modèle *FLUXE*, il est facile de calculer la demande d'enseignement. A chaque cours offert est associé un nombre d'heures. Connaissant le type de cours (cours magistral ou cours en "petites classes") et la taille des classes, on peut effectuer nos calculs.

#### DEMENS

##### Données :

- la taille des classes, par catégorie de cours
- le nombre d'heures d'enseignement
- l'effectif des étudiants.

##### Résultats :

- Nombre d'heures d'enseignement par semaine, par niveau, U.E.R. et année  
répartient en deux catégories
  - . Cours magistraux
  - . Cours en "petites classes".

### 5.7. Capacité d'enseignement

La capacité d'enseignement de l'Université dépend des programmes offerts, de l'effectif des étudiants, de l'effectif du corps enseignant et sa répartition selon les grades et les U.E.R.

Grâce à une structure donnée des catégories d'enseignants, il est possible de répartir le nombre total d'enseignants en professeurs, maîtres de conférences, maître-assistants, assistants... Lorsque nous connaissons combien d'heures de cours un "type" d'enseignant doit donner par semaine, nous pouvons calculer la capacité d'enseignement de l'Université et de chaque U.E.R.

Cette partie du modèle a été établie selon les trois points suivants :

effectifs étudiants  
besoin en enseignement  
effectifs enseignants

Ceci permet à l'U.E.R. de modifier tant son rapport étudiant / enseignant, que la structure des catégories d'enseignants.

Si une U.E.R. a une capacité insuffisante, elle peut ainsi, pour une structure donnée, établir quelle doit être la modification du rapport étudiant / enseignant et présenter une demande de postes.

Si la demande est refusée, elle a encore la possibilité de satisfaire ses besoins, dans une certaine limite, en modifiant le rapport des catégories d'enseignants.

Le modèle permet d'établir des chiffres. Ainsi, l'utilisation des calculs montre les conséquences pour chaque U.E.R. d'une structure donnée du corps enseignant, et les conséquences de la variations des ressources utilisées.

CAPAENSDonnées :

- Effectif étudiant
- Effectif enseignant
- Nombre d'étudiant par catégorie d'enseignant

Résultats :

- Capacité d'enseignement mesurée en nombre d'heures par semaine
- Rapport étudiant / enseignant.

Budget

Une fois l'effectif du personnel déterminé, nous pouvons établir le budget de l'Université. Nous connaissons exactement les salaires qui vont être utilisés dans le budget pour les différentes catégories de personnel :

- un plafond pour le montant du budget
- un plafond pour le nombre de postes

Le modèle ne peut pas déterminer le budget que sur la base des postes de titulaires.

BUDGETDonnées :

- Effectif du personnel
- les salaires par catégorie de personnel
- l'effectif étudiant

Résultats

- le budget pour chaque catégorie de personnel
- le coût par étudiant.

Comme l'Université se trouve dans une période difficile (taux d'accroissement très faible, sinon zéro) il lui faut être consciente de son propre état. Il lui sera très difficile de vivre seulement sur des augmentations marginales : elle doit réviser le montant global des ressources qui lui ont déjà été attribuées. L'utilisation d'un modèle de simulation lui facili-

tera la tâche.

Cependant, nous devons nous assurer de notre contrôle sur les paramètres ; si un ou plusieurs d'entre eux provoquent le changement d'un autre, nous devons connaître l'orientation et l'ampleur d'une éventuelle réaction.

S'il nous est impossible d'évaluer les valeurs numériques de ces réactions, nous devons simuler diverses estimations, car il nous faut connaître au moins un certain nombre des conséquences entraînées par un changement de paramètre.

Nous pensons, par exemple, qu'un rapport étudiant / enseignant plus faible est susceptible d'augmenter le taux de diplômés. On va essayer alors d'influencer les coefficients de transition. Il est cependant difficile de dire à priori lequel des trois coefficients sera modifié et dans quelle mesure. Nous nous trouvons dans une situation où il nous est impossible de prévoir à priori les réactions.

L'issue peut-être est de partir d'une réaction éventuelle et essayer le modèle pour différentes possibilités, pour établir des limites possibles des conséquences.

## CHAPITRE 6

### MODELE DE PLANIFICATION



6.1. Dans ce chapitre, on va présenter un modèle de planification décentralisée, comme instrument tactique de répartition des ressources.

A l'Université ces décisions se caractérisent souvent par un manque général des ressources, et par des informations incomplètes. La pénurie générale des ressources joue à satisfaire d'abord les demandes qui paraissent les plus urgentes.

L'un des objectifs de notre modèle de planification décentralisée est d'offrir aux responsables, une méthode adéquate de répartition des ressources disponibles pour atteindre de meilleurs résultats globaux. La procédure de planification a été conçue comme un instrument analytique à employer au niveau supérieur de décision de l'Université. A ce niveau de décision nous supposons que planification et décision opèrent d'une manière très décentralisée, avec des variables de décision peu nombreuses et très regroupées.

Le problème de la planification considéré est celui de la répartition des ressources. Il est né de l'intention d'attribuer les ressources de façon à aboutir à un équilibre entre l'offre et la demande d'enseignement.

Dans une Université, la plupart des problèmes de répartition des ressources tactiques traitent d'une façon ou d'une autre des répartitions de potentiel humain. Cependant, il est beaucoup plus facile de recruter plutôt que de renvoyer ou de déplacer le personnel. Ainsi, la meilleure façon de contrôler le système est de contrôler la croissance. Fondée sur des évaluations des demandes d'enseignement futures et des ressources disponibles, la procédure de planification détermine l'échéance et la quantité des répartitions des ressources pour chaque unité.

Les résultats du modèle fourniront ainsi, l'attribution des postes d'enseignants et les heures complémentaires pour chaque période de planification qui satisfait au mieux les demandes globales d'enseignement.

Le modèle offre aussi aux responsables un outil qui calcule immédiatement la répartition optimale des ressources pour l'ensemble des périodes de planification, à chaque fois que les plafonds des ressources changent, ou si une ou plusieurs des demandes d'enseignement se développent différemment des prévisions.

Une procédure de décentralisation est un modèle de prise de décision où interviennent divers sous-systèmes dont l'activité est coordonnée par un



organe central. On doit ainsi préciser les conditions d'un dialogue entre les "unités" impliquées et montrer en quoi les caractéristiques d'une procédure de décentralisation diffèrent de celles d'une simple méthode de calcul numérique.

Tous ceux qui ont vécu un certain temps dans l'Université savent que personne n'a jamais essayé de dissocier deux étapes bien distinctes de la planification.

Les membres du corps enseignant et les étudiants utilisent principalement ce que l'on peut appeler planification stratégique pour l'établissement de nouveaux cours et la modification de cursus. Ces plans se terminent généralement par une longue liste de ressources demandées.

D'autre part, l'administration est toujours seule pour allouer les budgets de fonctionnement approuvés par le Ministère. Cette division du travail provoque au fil des années de nombreux mécontentements et frustrations. Il n'est pas possible d'atteindre tous les objectifs immédiatement, c'est pourquoi il faut remettre à plus tard certaines demandes. Cette tâche délicate est confiée à l'administration. Elle entraîne obligatoirement des priorités et des choix auxquels les enseignants et les étudiants ont essayé d'échapper dans la planification stratégique.

Il y a deux problèmes principaux dans la planification tactique :

- le premier est qu'elle ne traite généralement que des affectations de crédits marginaux, or une affectation marginale n'est permise que si nous supposons que le système est au départ dans une situation optimale.

- le second problème est le manque d'information utile. La planification doit toujours être faite dans des conditions de plus ou moins grande imprécision sur le futur et à partir de données incomplètes.

Notre modèle essaie de proposer une procédure de planification qui peut surmonter toutes ces difficultés. L'introduction d'un système de décision décentralisée résout le problème des informations incomplètes ; seul l'organe central de décisions traite de l'ensemble des coûts des résultats et des variables de décision regroupés. Mais il ne s'occupe pas des projets individuels dont le choix revient aux organes décentralisés.

Nous allons présenter le chapitre de la façon suivante :

- Recherche des caractéristiques du contexte dans lequel le modèle doit l'appliquer. Ceci nous permettra de discuter les problèmes d'autonomie de conflit et d'interrelations entre les éléments décisionnels qui constituent l'Université.

On présentera notamment :

- . les notions de niveau et de hiérarchie,
  - . les notions de centralisation et de décentralisation avec leurs avantages et inconvénients.
- Présentation du choix possibles
- Description du modèle retenu.

## 6.2. La structure du système décentralisé :

L'analyse de la structure du système décentralisé passe par celle du système de décision de ses unités composantes. En effet, le réseau de ces décisions et des rapports entre les unités configure celui qui définit généralement un système et donc un ensemble d'éléments qui dépendent réciproquement l'un de l'autre, mais qui présentent un certain degré d'autonomie, et par conséquent de conflit possible avec l'ensemble.

Nous devons tenir compte des différents problèmes qui se posent :

- l'autonomie,
- le conflit,
- l'interrelation.

Pour cela une approche systématique des procédures de dialogue entre les éléments constitutifs d'un niveau de décision est nécessaire.

De cette première étape découle la seconde qui consiste à préciser la notion de hiérarchie et donc à étudier les rapports entre les différents niveaux de cette hiérarchie.

La confrontation des objectifs des différentes unités présente un caractère complexe car elle prend en compte la notion de conflit, de temps et d'information dont l'un des rôles consiste à rendre plus claire l'interdépendance des objectifs. De ce fait on ne doit plus centrer l'analyse sur la décision isolée, mais sur le déroulement social dans lequel les actions se réalisent.

Cette préoccupation on la trouve d'une manière permanente dans les travaux de Kornai (x), quand il aborde les problèmes d'agrégation de choix. Lorsqu'il étudie des algorithmes de prise de décision, montre également que la préparation de la décision est un *processus de connaissance*. Le rôle fondamental de l'information est ainsi clairement mis en valeur, et l'étude des processus de décisions révèle deux de ses aspects essentiels :

- d'une part, ce qu'une unité grâce à son expérience et au dialogue social qu'elle poursuit, peut apprendre sur sa propre fonction d'évaluation et sur celle des autres unités du même niveau (*processus d'apprentissage*)

---

(x) Antiequilibrium, North Holland

- d'autre part, la connaissance que les unités d'un niveau peuvent acquérir sur l'environnement extérieur, c'est à dire, entre autres, les contraintes que d'autres niveaux peuvent leur imposer. Il s'agira alors du *processus itératif à information croissante* (la fonction  $n$  définie précédemment)

Ceci montre clairement l'intérêt de dissocier pour l'analyse, les relations à un même niveau de celles qui interviennent entre niveaux différents.

Une prise de décision collective se fait après échange entre les parties intéressées et confrontation de leurs objectifs dans le cadre d'un processus décisionnel.

Il y a donc prise en compte des interdépendances des objectifs, information réciproque et surtout *modification progressive* des choix des différents centres de décision au cours des étapes successives du processus d'élaboration du plan.

Deux éléments caractérisent fondamentalement le choix collectif :

- d'une part il nécessite l'utilisation d'une procédure itérative
- d'autre part il est partie intégrante des relations complexes entre les différents sous-ensembles.

A l'intérieur de ce schéma, se posent plusieurs séries de problèmes :

- tout d'abord celui de déterminer les unités qui participent à l'élaboration du plan,
- de la place qu'elles occupent au sein de l'organisation car l'importance de l'unité et l'ampleur de *l'autonomie* dont elle dispose, tant dans le domaine de l'emploi des ressources que dans celui de ses relations avec les autres unités, déterminent la nature profonde du processus de planification.

C'est pourquoi, dans cette perspective, la notion de l'"optimum" doit être recherchée au niveau de la procédure de confrontation d'objectifs dont certains peuvent initialement se trouver partiellement *en conflit*. Si la procédure de discussion a pu être explicitée et rationalisée, éventuellement formalisée, l'élaboration des objectifs communs à atteindre peut aboutir à un résultat qui satisfasse à la fois aux critères de la décentralisation et à ceux de l'efficacité (non gaspillage des ressources).

Mais il faut être conscient des dangers que peut présenter l'utilisation abusive d'une formalisation, ainsi nous devons chercher des instruments qui puissent être adaptés aux types des problèmes que nous posons.

### 6.3. Niveaux - Hiérarchies

Avant d'examiner les deux processus du dernier paragraphe on va préciser la notion de niveau et la notion de hiérarchie.

Dans la dernière définition du système au chapitre trois, on avait écrit qu'un système est une entité complexe traitée comme une totalité organisée... ; il nous faut maintenant examiner de plus près les types d'organisation qui peuvent exister. C'est à dire d'examiner les lignes de communication et de contrôle du système et les influences qui s'établissent entre les éléments.

Parmi les modalités organisationnelles, la plus importante est indéniablement la *structure hiérarchique*. Une définition restrictive de la hiérarchie est la suivante :

*Une hiérarchie est un ensemble de composants qui peuvent être considérés à des termes de niveaux. Ces niveaux servent comme sous-ensembles dans lesquels les composants du système d'une classe particulière sont organisés (un niveau peut avoir un ou plusieurs composants).*

On peut classer les structures hiérarchiques en quatre types différents

#### Hiérarchies strictes ou de dominance :

Ce sont les hiérarchies où les éléments de niveau supérieur dominent les niveaux inférieurs. Le plus haut niveau représente l'autorité suprême, et le niveau le plus bas a l'autonomie la plus faible. Dans une telle structure chaque niveau, sauf le plus haut devient déterministe si on connaît les contraintes que les niveaux supérieurs imposent aux niveaux inférieurs.

#### Holarchies (x) :

C'est une structure où les niveaux supérieurs ne diminuent complètement les niveaux inférieurs, les liaisons entre niveaux ne sont pas à sens unique. L'influence entre niveaux est bilatérale.

---

(x) d'après "Holon" voir A. KOESTLER, Le cheval dans la locomotive

Dans une holarchie, chaque niveau présente un double visage :

- vis à vis des niveaux supérieurs est un instrument à utiliser mais en même temps une source d'information et des recommandations,
- pour les niveaux inférieurs est une source d'autorité et de contrôle.

Et ceci est valable pour tous les niveaux sauf les deux niveaux extrêmes.

#### Hiérarchies néogénétiques :

Des hiérarchies rencontrées dans le domaine biologique : les éléments des niveaux supérieurs émergent des éléments des niveaux inférieurs. Le point important ici est que l'origine et la signification des éléments d'ordre supérieur est à chercher dans l'impulsion d'évolution des éléments d'ordre inférieur. Ils partagent la même condition et les mêmes informations et à des contacts spécifiques engendrent un nouveau niveau qui est la première étape vers le développement d'un système hiérarchisé. L'interdépendance entre niveaux est très forte.

La bonne "santé" du système est une condition nécessaire et suffisante de la "bonne santé" des parties.

#### Identité :

Elle pose un problème délicat, comme l'indique d'ailleurs le terme identité pour parler d'une hiérarchie. Comme écrit Patte (\*), le problème central de la théorie des hiérarchies est :

"... the relation between the structural and descriptive levels" du système hiérarchique.

Ce qui veut dire qu'il y a des systèmes hiérarchiques où les niveaux qu'on utilise pour leur description (pour rendre compte de leur structure) ne sont pas pertinents pour la situation que l'on examine. Ce que l'on considère comme niveau n'en est pas un.

Une règle générale pour distinguer une vraie hiérarchie d'une identité est la suivante :

Chaque niveau d'une vraie hiérarchie doit faire intervenir des

---

(\*) Hierarchical theory

propriétés structurelles ou fonctionnelles qui sont différentes de celles des éléments d'ordre inférieur. Quand une hiérarchie (ou un niveau d'une hiérarchie) peut se réduire à la somme ou à une agrégation des propriétés de ses parties, est une hiérarchie identité.

Ceci nous amène à l'énoncé de la proposition de la théorie des systèmes hiérarchiques, qui constitue un outil très puissant pour l'étude des systèmes.

Les propriétés des niveaux supérieurs ne peuvent pas se déduire des propriétés des éléments des niveaux différents (Mesarovic (x) "...the principles or laws used to characterize the system on any stratum cannot in general be derived from the principles used on other strata...").

Ce qu'on peut dire "Une caractéristique des systèmes hiérarchiques de niveaux différents demandent de descriptions différentes".

Vu l'importance de la notion des niveaux, on donne une définition formelle :

$L$  est une structure à niveaux  $\ncong L = (S, E)$

où  $S$  est une famille d'ensembles de systèmes

$E$  une relation binaire sur  $S$ , qui a les propriétés de réflexivité et de transitivité.

Elle représente l'émergence ou l'arrivée de nouveaux systèmes dans un processus.

Chaque membre de  $S$  est un ensemble de systèmes qui sont équivalents d'un certain point de vue (c'est à dire chaque membre de  $S$  est une classe d'équivalence de systèmes avec les mêmes propriétés de base).

Les exigences de la structure hiérarchique que l'on peut poser du point de vue de la théorie sont :

- Des niveaux adjacents doivent posséder des interfaces,
- Deux niveaux quelconques d'une hiérarchie doivent présenter des différences soit entre les relations inter-niveaux soit à la nature des éléments qui les composent.

- On pose aucune condition sur le type des relations entre les éléments d'un même niveau.

### 6.3.1. Relations à un même niveau :

On va développer maintenant le processus d'apprentissage parmi les membres d'un même niveau.

Dans la résolution d'un conflit, le passage de la non-coopération entre unités puis la recherche collective des informations qui leur permettra d'aboutir à l'élaboration d'objectifs agrégés, représentent une évolution positive dans la mesure où elle aboutit à une prise de décision collective à plusieurs critères. En effet, l'analyse multicritère suppose qu'un large consensus se soit réalisé après clarification des conflits au cours du processus d'apprentissage.

#### Une unité décisionnelle :

Considérons d'abord une unité décisionnelle choisissant sa variable de décision  $x \in X \subset \mathbb{R}^n$ . Supposons que cette unité possède un ou plusieurs critères :  $J_1(x), J_2(x), \dots, J_n(x)$  où les  $J_i$  sont des fonctionnelles  $J_i : X \longrightarrow \mathbb{R}$ .

L'unité souhaite minimiser ses  $n$  critères. Or, en général il n'existe pas de solution  $x^*$  t.q.  $x^* \in X$  et

$$\forall i, i=1,2,\dots,n$$

et

$$J_i(x^*) \leq J_i(x).$$

$$\forall x \in X$$

Une manière de poser un problème qui a un sens du point de vue concret est d'employer une fonction d'utilité globale. Si l'unité est capable de répondre à la question : "Quelle augmentation  $\delta J_j$  du critère  $J_j$  vous paraît tolérable si en échange, vous obtenez une diminution  $\delta J_i$  du critère  $J_i$  ?". On admet l'existence d'une fonction d'utilité globale :

$$\begin{aligned} J(x) &= J(J_1(x), \dots, J_n(x)), \text{ où } J : \mathbb{R}^n \longrightarrow \mathbb{R} \\ \text{t.q.} \quad (J(x) \geq J(x')) &\text{ si } (J_i(x) \leq J_i(x')) ; \forall i, i=1, \dots, n \end{aligned}$$



Alors le problème multicritère devient un problème à un seul critère : optimiser  $J(x)$  pour  $x \in X \subset \mathbb{R}^n$ .

#### 6.3.1.1. Plusieurs unités décisionnelles :

On suppose maintenant que l'on a  $n$  unités décisionnelles. Chaque unité possède un critère qu'il cherche à minimiser.

Pour chaque unité  $i$ , soit  $x_i$  les variables décisionnelles correspondantes, on suppose que  $x_i \in X_i \subset \mathbb{R}^n$ .

Mais les  $n$  unités peuvent avoir aussi des contraintes communes, soit :  
 $K \subset X_1 \times \dots \times X_n$ .

En résumé, les contraintes sur les variables de décision se traduisent par :

$$x_i \in X_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$(x_1, \dots, x_n) \in K \subset X_1 \times \dots \times X_n$$

Les différents critères seront désignés par  $J_i(x_1, \dots, x_n)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , ou encore  $J_1(x), \dots, J_n(x)$ .

Nous supposons que les différents critères peuvent dépendre des variables de décision des autres unités décisionnelles (ce que l'on désigne sous le nom d'*effets externes*).

#### Point de Nash :

Si  $n$  unités en conflit sont en situation de non coopération, c'est à dire si elles ne connaissent que les stratégies possibles des autres unités à l'exclusion de toute autre information, l'équilibre qui en résultera sera un "équilibre de Nash". La seule caractéristique d'un tel équilibre est que toute décision d'une unité de s'écarter de la position d'équilibre ne peut que diminuer sa propre "utilité" ce qui détermine sa stabilité.

Cette notion peut être formalisée de la manière suivante :

On dira qu'un point  $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$  est un point de Nash (ou équilibre non coopératif) si sont vérifiées les propriétés suivantes :

$$x^* \in K ;$$

$$\forall i, i = 1, 2, \dots, n ; \forall x_i \text{ t.q. } x_i \in X_i$$

$$\text{et } (x_1^*, x_2^*, \dots, x_{i-1}^*, x_i, x_{i+1}^* \dots x_n^*) \in K$$

$$\text{on a : } J_i(x_1^*, \dots, x_{i-1}^*, x_i^*, x_{i+1}^*, \dots, x_n^*) \leq J_i(x_1^*, \dots, x_{i-1}^*, x_i, x_{i+1}^*, \dots, x_n^*)$$

Aucun progrès n'est possible lorsqu'une telle solution est atteinte, même si chacun sait que globalement il existe des solutions socialement meilleures. L'amélioration des résultats obtenus par l'ensemble des unités se fera donc au fur et à mesure de l'enrichissement de l'information des différentes unités. L'évolution d'un tel système nécessite alors que chaque unité tende à recueillir de la part des autres des informations supplémentaires sur leurs critères de décision, et qu'elles recherchent une coopération à travers des "coalitions" qui leur permettent de découvrir un équilibre plus satisfaisant. Toute "coalition a en théorie une existence possible ; il s'agit donc, parmi l'ensemble des coalitions de choisir celles qui permettront à la solution de s'améliorer globalement.

En général, en coopérant, les  $n$  unités peuvent améliorer la situation de chacune d'entre elles par rapport à l'équilibre non-coopératif. Autrement dit, la situation suivante est possible :

Si  $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$  est un point d'équilibre non coopératif, il existe un autre ensemble de décisions  $x' = (x_1', \dots, x_n')$  t.q.  $x' \in K$  et  $x_i' \in X_i$  et pour chaque  $i, i=1, \dots, n$ .

$$J_i(x_1', \dots, x_n') < J_i(x_1^*, \dots, x_n^*)$$

Il est clair que les  $n$  unités peuvent s'entendre pour choisir  $x'$ . Ceci conduit à l'introduction des points de Pareto, qui, intuitivement sont des points tels qu'il n'est pas possible de trouver un autre ensemble de décisions compatibles avec les contraintes et améliorant les situations de toutes les unités à la fois.

Point de Pareto :

On dira qu'un point  $x^\circ = (x_1^\circ, \dots, x_n^\circ)$  est un point de Pareto si :

$$x^{\circ} \in K$$

et si lorsque  $x \in K$ , vérifie  $J_i(x) \leq J_i(x^{\circ}) \quad \forall i, i = 1, \dots, n$   
alors

$$J_i(x) = J_i(x^{\circ}) \quad \forall i, i=1,2,\dots,n.$$

Remarquons qu'un *point de Pareto*,  $x^{\circ}$ , est solution de l'ensemble de  $n$  problèmes d'optimisation suivante :

$$P_i \quad \left\{ \begin{array}{l} \min J_i(x) \\ x \in K \\ J_j(x) \leq J_j(x^{\circ}) \quad \forall j \neq i \end{array} \right.$$

En effet, si  $x$  satisfait les contraintes du problème  $P_i$  alors on a forcément :  $J_i(x) \geq J_i(x^{\circ})$  car sinon on aurait  $J_i(x) < J_i(x^{\circ})$  ce qui contredirait le fait que  $x^{\circ}$  est un point de Pareto.

Réciproquement, si  $x^{\circ}$  est solution des  $n$  problèmes  $(P_i)$  alors  $x^{\circ}$  est un point de Pareto.

En effet, sinon d'après la définition, pour chaque  $x$  compatible avec les contraintes et vérifiant

$$J_i(x) \geq J_i(x^{\circ}) \quad \text{pour chaque } i,$$

il existerait  $i_0$  tel que  $J_{i_0}(x) < J_{i_0}(x^{\circ})$ , mais alors  $x^{\circ}$  ne serait pas solution du problème  $P_{i_0}$ .

Cette caractérisation des points de Pareto nous permet en fait de nous ramener à un seul problème d'optimisation (au moins sous certaines hypothèses convenables).

On voit bien qu'un choix ne pourra être effectué que si un objectif global peut être décidé à partir de ceux des unités de coalition. L'aboutissement d'un tel effort est un processus d'apprentissage qui permet aux différentes unités après négociations et échanges, de prendre conscience de leur appartenance à une collectivité.

### 6.3.2. Relations entre niveaux :

Un niveau de décision se définit comme étant un ensemble d'unités de

décision possédant les mêmes variables de décision, c'est à dire concernées par les mêmes types de problèmes.

Au sein du système décentralisé, les différentes unités de décision se trouvent insérées au sein d'un ensemble pyramidal "hiérarchisé" dont chaque niveau est doté d'une fonction précise et se verra affecté à l'issue de la procédure de planification d'objectifs spécifiques.

Chaque unité de décision possède une fonction d'évaluation qui est l'expression de ses propres préférences ; les programmes exprimés par ces différentes unités peuvent être contradictoires, du moins conflictuels. Les différentes unités après confrontation de leurs objectifs doivent alors négocier la décision ou l'ensemble des décisions de leurs niveaux, et cette décision transmise au niveau inférieur sera considérée par celui-ci comme une donnée. L'objet de l'itération sera justement de la remettre éventuellement en question ; cependant, au cours de l'une d'entre elles, les informations envoyées par le niveau supérieur constitueront des contraintes à satisfaire de façon impérative.

A travers l'imposition par le niveau supérieur d'un schéma déterminé, à l'intérieur duquel les unités de décision du niveau inférieur confrontent leurs objectifs, on retrouve certains traits d'un système centralisé pur, cependant deux aspects l'en différencient profondément :

- chaque niveau participe aux décisions de tous les niveaux supérieurs. En effet, toute fonction d'évaluation  $J$  est déterminée à partir de la volonté de l'ensemble des sous-unités. Par contre, un niveau fixe des contraintes au niveau inférieur mais ne lui impose pas de prendre une décision particulière. Et en cela nous abordons le problème de l'autonomie, deuxième trait distinctif par rapport au système centralisé.
- Chaque niveau possède en effet ses variables propres, objet de son dialogue interne qui concerne l'ensemble des unités constituantes, symbole de son autonomie. Quelles sont ses variables propres ? Elles correspondent, soit à des variables spécifiques au niveau, correspondant à des problèmes particuliers.

Ainsi, chaque unité de décision participe doublement au système de prise de décision. D'une part, il contribue à l'élaboration des décisions

des niveaux supérieurs, d'autre part il décide avec d'autres unités pour tout ce qui concerne son niveau (*holarchie*).

Au fur et à mesure que l'on "descend" dans la hiérarchie, l'information est affirmée de façon qu'à la base elle soit totalement désagrégée. Ceci met en valeur le rôle de l'itération dans un *processus d'information croissante*. En effet, elle permet à un niveau de décision de cerner de façon de plus en plus précise toutes les conséquences d'une décision peut entraîner. La multiplication des niveaux de décision permet l'utilisation d'une information plus adaptée aux problèmes posés, et le développement des procédures itératives favorisera un flux à double sens d'informations expliquant et justifiant telle décision ou telle prise de décision.

On voit bien que dans ce cadre, la notion de "hiérarchie" ne correspond pas à une organisation stricte, de type militaire ou bureaucratique, mais signifie seulement, pour les éléments constituant à un niveau déterminé qu'ils appartiennent à un ensemble plus vaste à la cohérence duquel ils contribuent.

Le système peut donner lieu, dans cette perspective, à une représentation. A chaque noeud se trouve un niveau de décision caractérisé par ses fonctions d'évaluation et son modèle prévisionnel d'évolution des variables descriptives, sous l'impulsion des variables de commande à sa disposition.

Bien entendu, cette hiérarchie ne possède aucun caractère rigide et tel ou tel problème concernant seulement certains niveaux de la structure sera l'occasion d'une prise de décision par une "sous-structure" de la hiérarchie ne comportant que les éléments réellement concernés.

L'unité d'un tel schéma repose sur le rôle que se fixe la planification : c'est à dire la définition puis la satisfaction des besoins collectifs.

Elle nécessite la transmission de beaucoup moins d'information entre les différents niveaux, parce que le système permet à ses membres de prendre des décisions indépendamment les uns des autres. De plus, en comparaison avec le système centralisé, nous pouvons plus facilement utiliser les connaissances spéciales de chaque secteur.

Une décentralisation non contrôlée a de nombreux inconvénients dont le principal est le suivant. Les programmes choisis par les secteurs individuels peuvent ne pas s'équilibrer ni s'accorder avec les objectifs du système total. Ainsi on se pose le problème de l'équilibre à trouver entre la centralisation et la décentralisation.

### 6.3.3. Décentralisation avec un contrôle central :

Les systèmes de centralisation et de décentralisation ont tout deux leurs avantages et nous pouvons donc établir des systèmes de gestion qui les rapprocheraient jusqu'à un certain point. Nous pourrions appeler cette procédure : décentralisation avec contrôle central.

L'idée principale est que l'organe central de décision décide des objectifs et jusqu'à un certain point, des moyens à employer. Il répartit aussi les ressources rares. Cependant, en agissant ainsi, il ne fait qu'observer jusqu'à quel point les unités en question peuvent répondre à des objectifs d'ensemble. Il répartit les ressources selon le principe de l'égalisation des utilités marginales.

Cependant, il faut remplir une condition essentielle pour contrôler le système de cette façon : l'organe central de décision doit avoir confiance en la bonne volonté que les organes de décision des unités montrent pour satisfaire ses objectifs et non les leurs. Si ceci s'avère impossible, l'organe central de décision doit au moins pouvoir annihiler les informations qu'il reçoit des unités décentralisées.

Les systèmes décentralisés peuvent être contrôlés de deux manières :

- 1- contrôle des prix (prix internes)
- 2- contrôle des quotas (plafonds des ressources)

On a souvent suggéré le contrôle des prix ou l'évaluation interne des prix comme moyen de contrôler des unités décentralisées. Quand le coût attribué à une utilisation spécifique augmente, le montant utilisé diminue et, pour une certaine valeur du coût, la demande égale des offres.

Mais la notion d'évaluation interne s'avère difficile à comprendre dans le milieu universitaire. Les enseignants acceptent très mal l'évaluation monétaire des activités universitaires, et ont du mal à comprendre

qu'une *ressource rare* ait une valeur supérieure à l'intérieur du système qu'à l'extérieur.

Le contrôle des quotas est une autre forme de contrôle de la consommation en ressources rares des unités décentralisées. Dans ce cas, l'organe central de décision répartit les quotas des ressources rares aux unités décentralisées et il enregistre ce qu'elles ont accompli avec les quantités attribuées.

Les deux méthodes, mènent à la même solution optimale et elles forment une double solution au même problème.

Parlant en termes de programmation linéaire, la décentralisation contrôlée par des prix internes prend souvent le nom de la "*procédure de décomposition de Dantzig-Wolfe*". Alors que la décentralisation contrôlée par des quotas prend fréquemment le nom de "*procédure de décomposition de Kornai-Liptak*". Un trait propre à l'usage d'une procédure décentralisée, de répartition de ressources est que seuls les éléments des données clefs sont transmis de l'un à l'autre des niveaux concernés par les décisions. Selon le nombre et le contenu des variables de décision utilisées dans le modèle, on dispose pour le niveau de décision inférieur de plus ou moins de liberté et d'aisance. Si nous avons des variables peu nombreuses et très regroupées, la liberté est d'autant plus grande.

#### 6.3.4. Les choix possibles de modèles de décentralisation :

Chaque unité (sous-système) sera représenté par un ensemble de relations formant un sous-ensemble  $A_i$ .

Dans ce sous-modèle seront décrites les caractéristiques de l'unité  $i$  pendant la période de planification, et aussi les contraintes propres à ce sous-système.

D'autre part, les différents sous-systèmes ont dû s'accorder pour choisir une *fonction économique* à optimiser. L'autorité centrale qui n'a qu'une fonction de coordination et de conciliation devra conduire à cette optimisation. En menant cette action, l'autorité centrale veillera à l'observation d'un certain nombre de contraintes dites globales, liant les sous-systèmes. Certaines décrivent des limitations en ressources rares pour lesquelles les sous-systèmes entrent en compétition. D'autres expriment des objectifs et des "normes" de fonctionnement, qui viennent compléter le choix

de la fonction économique.

Dans les échanges d'information on suppose généralement que : chaque sous-système ignore la représentation  $A_i$ .

Le dialogue entre centre et sous-systèmes se compose alors d'une suite d'itérations.

A chaque itération  $k$ , le centre envoie une information  $S^k$  qui peut être une allocation en ressources rares.

Connaissant  $S^k$  et la représentation  $A_i$ , chaque sous-système  $i$  modifie son plan. Alors il envoie au centre une information  $R_i^k$  sur les dispositions qu'il vient de prendre.

Cette information peut être un nouveau plan. Ainsi nous aurons :

$$R_i^k = h_i (A_i, S^k)$$

Ici la fonction  $h_i$  désigne un moyen mécanique de détermination de  $R_i^k$  il s'agira par exemple d'une optimisation propre au sous-système  $i$ ,  $R_i^k$  étant la solution optimale. En fait la réponse donnée par les sous-systèmes dépendra souvent des informations données et reçues antérieurement, d'où :

$$R_i^k = g_i (A_i, S^k, R_i^1, \dots, R_i^{k-1}; S^1, S^2, \dots, S^{k-1})$$

(cette procédure est essentielle pour assurer la convergence monotone des algorithmes, ex. la méthode du simplexe).

Au vu de ces réponses  $R_i^k$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), connaissant la fonction économique et les contraintes globales, liant les sous-systèmes, le centre élabore une nouvelle information  $S^{k+1}, \dots$

Si certains éléments de la décision sont non formalisables, si la connaissance de la structure du sous-système  $i$  évolue en cours de procédure de telle façon que la représentation  $A_i$  soit remise en cause, à chaque étape, alors le résultat n'est nullement acquis d'avance au moment où démarre la procédure et un dialogue où figurent les représentants des sous-systèmes est nécessaire.

En effet, certains éléments de décision sont difficiles à formaliser, tels que la prise en compte du risque ou d'effets externes. D'autres ne sont



pas formalisables tels que le jeu des groupes de pression. Aussi, les sous-systèmes peuvent vouloir donner après délibération une réponse autre que celle déterminée mécaniquement par les fonctions  $k_i$  à partir des représentations  $A_i$ .

Mais l'insuffisance des représentations  $A_i$  viendra plus systématiquement encore d'une insuffisante description des possibilités du sous-système  $i$ . En effet, on peut penser que les sous-systèmes ne disposent, au début de procédure, d'une description précise de toutes les possibilités qu'ils ont à leur disposition, susceptibles d'être ultérieurement avantageuses.

Au fond, au départ, chaque sous-système ne pourra convenablement décrire que les techniques qu'il est en train d'utiliser, augmentées de quelques variantes et projets nouveaux fondés sur ses propres prévisions quant à l'évolution de sa situation propre et de son environnement.

Or, c'est l'objet d'une procédure de décentralisation que de préciser les conditions de cette évolution, et de la répartition des ressources allouées aux sous-systèmes.

C'est dire que la procédure devra s'étendre dans le temps et que la connaissance des représentations  $A_i$  par les sous-systèmes eux-mêmes sera évolutive.

#### 6.3.5. Déroulement dans le temps du processus de décision :

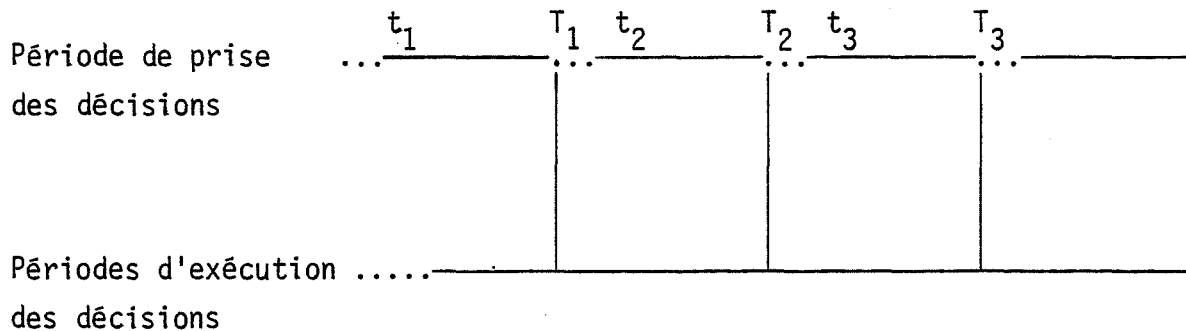
Distinguons d'abord les période de prise de décision et périodes d'exécution des décisions.

Considérons une période de prise de décision comprise entre les dates  $t_1$  et  $T_1$  où l'on applique une procédure décentralisée. On atteint la fin de la procédure à la date  $T_1$  si les représentations disponibles des différents sous-systèmes ne permettent plus, à cette date d'améliorations de la fonction économique. Nous sommes donc à l'optimum et, à partir de  $T_1$ , les plans optimaux qui viennent d'être déterminés sont mis en oeuvre.

Pourtant, des changements apparaissent, des objectifs communs évoluent les disponibilités de chaque sous-système également. Ces conditions nouvelles conduisent à remettre en cause les décisions prises précédemment. Ainsi, une nouvelle période de concertation va s'ouvrir. Elle va consister à réappliquer la procédure décentralisée entre des dates  $t_2$  et  $T_2$ . En  $T_2$  de nouvelle déci-

sions optimales sont prises et de nouveaux plans optimaux viennent remplacer les anciens, etc.

On peut schématiser :



On remarque qu'ici le déroulement de la procédure n'affecte les plans effectivement mis en oeuvre qu'à la fin de la période de concertation. D'autre part, la période de concertation ne peut qu'être assez longue, ce qui rend le processus de décision très discontinu. Il peut sembler néfaste et même irréaliste de figer aussi longtemps les conditions du fonctionnement, alors que se succèdent les conditions qui le conditionnent. Les plans nécessitent bien des correctifs.

Pour palier les inconvénients d'une régulation aussi discontinue, une autre manière de faire consiste à remettre en cause les décisions de façon permanente.

Supposons que l'emploi d'une procédure décentralisée ait conduit à des plans optimaux, à partir des  $A_i$  et des ressources disponibles et des prévisions les concernant, effectivement mis en oeuvre. Cette optimalité sera éphémère si l'on tient compte des facteurs qui viendront assez vite modifier les représentations  $A_i$ .

Le processus peut alors être le suivant :

Un sous-système à la suite des changements modifiant son état est amené à proposer un plan plus avantageux que l'ancien. La procédure va reprendre. Le sous-système adresse à l'organe central l'information correspondante. Tenant compte de cette nouvelle proposition, le centre modifie alors ses injonctions qui sont réexpédiées aux divers sous-systèmes. Celles-ci auront cours jusqu'à ce qu'un autre sous-système signale une modification de

son plan.

On obtient ainsi un processus d'adaptation "continu" où l'initiative des révisions appartient aux sous-systèmes.

#### 6.3.6. Décentralisation par allocation des ressources :

Les sous-systèmes sont liés par des contraintes appelées contraintes globales ou contraintes de couplage. Celles-ci décrivent principalement des limitations en ressources que doivent se partager les sous-systèmes. Dans les procédures de décentralisation par allocation des ressources le centre distribuera entre les sous-systèmes les seconds membres relatifs à ces contraintes globales.

Les ressources et objectifs ayant été distribués, chaque sous-système optimisera sa "production" puis enseignera l'autorité centrale quant à son efficacité économique. Le centre va reconsidérer sa distribution initiale afin d'utiliser au mieux les compétences de chacun. Cette nouvelle distribution des ressources sera réexpédiée aux sous-systèmes qui calculeront leur nouvelle "efficacité", etc...

#### 6.3.7. La présentation du modèle (\*) :

En faisant quelques hypothèses simplificatrices, notamment :

- on considère pas l'allocation intertemporelle des ressources,
- on ne différencie pas les activités de reproduction et d'investissement des secteurs.

Le modèle simplifié se présente comme suit :

#### Programme central.

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Z_{ji} + d_i = v_i \leq V_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = W$$

---

(\*) Kornai : Mathematical Planning of Structural Decisions

$$v_i \geq 0 ; \quad z_{ji} \geq 0 ; \quad w_i \geq 0 ; \quad i = 1 \dots n ; \quad j \neq 1$$

où  $d_i$  étant la demande finale des biens produits par le secteur  $i$   
 $V_i$  la limite supérieure de la production exigible du secteur  $i$   
 $v_i$  la production de ce secteur  
 $z_{ji}$  la quantité de bien  $j$  utilisée par le secteur  $i$  dans son processus de production  
 $W$  la population active, dont  $w_i$  est à la disposition du secteur  $i$ .

Les variables du problème central sont  $(v_i, z_{ji}, w_i)$ .

Programmes sectoriels.

$$\text{Le primal :} \quad v_i \leq \sum_{k=1}^{m_i} f_{ik} x_{ik} \leq V_i$$

$$\sum_{k=1}^{m_i} g_{ijk} x_{ik} \leq z_{ij}$$

$$\sum_{k=1}^{m_i} h_{ik} x_{ik} \leq w_i$$

avec :  $x_{ik} \geq 0$  niveau de l'activité  $k$  du secteur  $i$

$f_{ik}$  coefficient d'output de la  $k^{\text{ième}}$  activité du secteur  $i$

$g_{ijk}$  coefficient d'input de ressources de la  $k^{\text{ième}}$  activité

$h_{ik}$  coefficient d'input de main d'oeuvre de la  $k^{\text{ième}}$  activité.

Outre ces contraintes, il existe des contraintes propres aux secteurs

$$\sum_{k=1}^{m_i} a_{ihk} x_{ik} \leq b_{il} \quad l = 1, \dots, S_i$$

La fonction-objectif pour le secteur  $i$  est :

$$\begin{aligned} m_i \\ \sum_{k=1} C_{ik} x_{ik} = J \longrightarrow \max \end{aligned}$$

Si on distingue  $n$  secteurs la forme canonique du problème est la suivante, où  $x_1, \dots, x_n$  sont les variables qui correspondent aux secteurs.

$$(P) \quad \left. \begin{aligned} \max \quad & c_1 x_1 + \dots + c_n x_n \\ & A_1 x_1 + \dots + A_n x_n \leq b \\ & x_1 \geq 0 \quad \dots \quad x_n \geq 0 \end{aligned} \right\} X$$

où  $X$  est le polyèdre primal.

L'organe central va devoir distribuer entre les sous-systèmes le second membre

$$b = \begin{pmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_m \end{pmatrix}$$

des disponibilités en ressources.

Soient  $u_1, \dots, u_n$  les vecteurs représentant de telles allocations aux différents sous-systèmes. Ces vecteurs sont tous de même taille que  $b$ .

On appelle *allocation centrale* un vecteur :

$$u = \begin{pmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_n \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^{nm} : u_1 + \dots + u_n = b$$

Une allocation centrale des ressources permet de définir des programmes propres à chacun des sous-systèmes, soit pour le sous-système  $i$  un programme

$$(P_i(u_i)) \quad \left. \begin{aligned} \max \quad & C_i x_i \\ & A_i x_i \leq u_i \\ & x_i \geq 0 \end{aligned} \right\} X_i(u_i)$$

Evidemment, nous ne devons considérer que des allocations pour lesquelles les domaines  $X_y(u_i)$  sont non vides.

Pour une allocation admissible  $u$ , l'ensemble des programmes  $P_i(u_i)$  forme un programme décentralisé relatif à  $u$ , soit  $P(u)$ .

L'ensemble des solutions d'un tel programme s'écrit :

$$X(u) = \left\{ \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = x_1 \in X_1(u_1) \dots x_n \in X_n(u_n) \right\}$$

Kornai et Liptak ont démontré que l'ensemble des solutions réalisables du programme global est la réunion des solutions réalisables des programmes décentralisés  $P_i(u)$  lorsque  $u$  varie dans  $U$ , ensemble de toutes les allocations admissibles, soit

$$X = \bigcup_{u \in U} X(u)$$

Avec de telles notations, le programme global  $P$  peut s'écrire :

$$\begin{array}{lll} \text{Max } c x & = & \text{Max} \quad \text{Max } c x \\ x \in U & & u \in U \quad x \in X(u) \end{array}$$

On voit apparaître ici l'optimisation à deux niveaux : pour une allocation donnée les sous-systèmes doivent optimiser leurs programmes  $P_i(u_i)$  et le centre doit chercher la meilleure allocation parmi les allocations admissibles.

L'algorithme que les deux auteurs ont proposé est basée sur la transformation du problème à deux niveaux en un "jeu polyédrique". Le but du jeu étant d'aboutir à un état d'équilibre qui soit un "point-selle" c'est à dire que la solution doit correspondre à une seule "stratégie" d'allocation de ressources par le centre, et à une seule "stratégie" de variables duales pour les secteurs.

Or, si la problématique posée par Kornai et Kiptak reste fondamentale, l'algorithme de résolution qu'ils ont proposé fonctionne très mal ; il présente l'inconvénient majeur de ne pas posséder le caractère de la convergence monotone, et ne converge qu'en un nombre infini d'itérations.

En fait, il reste de tout cela les prémisses, à savoir la considération d'une décentralisation fondée sur l'allocation des ressources. C'est à dire sur la distribution aux sous-systèmes, du vecteur des seconds membres du programme.

De notre part, ce dans cet ordre d'idées que l'on propose un modèle de planification décentralisée pour l'Université que l'on va proposer maintenant.

#### 6.3.8. Le niveau d'exécution du modèle :

L'université se compose de  $n$  U.E.R. qui sont considérées comme des unités indépendantes, sur le plan des obligations d'enseignement. C'est pourquoi si nous changeons ou établissons de nouveaux cursus dans une U.E.R. cela n'entraîne pas, au moins à court terme, de changement de la demande d'enseignement dans les autres U.E.R.

Cette indépendance facilite le développement à court terme des prévisions sur les demandes d'enseignement. C'est pourquoi nous pouvons développer un instrument de planification capable d'attribuer les ressources disponibles de façon à satisfaire au mieux les demandes prévues.

L'université s'organise en partie selon un système décentralisé. Quelques catégories de décisions sont largement centralisées, telles que les répartitions annuelles de ressources marginales. Toutes les décisions pédagogiques sont d'autre part partiellement décentralisées.

Cette indépendance nous amène à un découpage "naturel" pour bâtir notre modèle. On va considérer deux niveaux :

- l'administration,
- les U.E.R.

i.e. l'organe central et les secteurs.

Les moyens que l'organe central emploie pour "contrôler" les U.E.R., sont les attributions des ressources rares. Nous considérons les finances et les postes de personnel comme des ressources rares.

C'est évident pour les finances, mais les contraintes du potentiel humain interviennent parce qu'il y a des limitations sur le nombre de personnes qui, chaque année, peuvent être recrutées par la fonction publique.

En ce qui concerne le budget une attitude qui nous semble réaliste, est de considérer le budget disponible comme variable exogène, qui constitue un input pour le modèle. Il est déterminé en très grande partie par des facteurs exogènes.

D'autre part, l'approche par le budget total est un élément nécessaire pour un système de planification décentralisée ; en effet, on doit s'assurer que les responsables de décentralisation au moment de planifier, prennent en compte toutes leurs activités, et que toutes les ressources sont toujours réparties conformément aux objectifs d'ensemble de l'Université. Un élément important aussi, est la possibilité de mesurer la façon dont la satisfaction des demandes des ressources. Ainsi en considérant le budget comme un input, le problème de la gestion des ressources devient un problème d'allocation du budget disponible.

On peut dire, avant de continuer la présentation, un mot pour la recherche. Bien que les activités de recherche n'apparaissent pas comme des variables de décisions explicites, ceci n'implique pas que l'on n'en tient pas compte. En fait, nous supposons que les enseignants passent une partie de leur temps de travail à des activités de recherche, et ce temps évidemment est retiré du calcul du nombre d'heures qu'ils consacrent à l'enseignement.

Une caractéristique d'une procédure décentralisée de la répartition des ressources est, que seuls les éléments clefs sont transmis entre les niveaux concernés par les décisions.

Selon le nombre et le contenu des variables de décision utilisées, on dispose pour le niveau de décision inférieur de plus ou moins de liberté et le contrôle décentralisé devrait s'exercer de manière à minimiser les inconvénients du changement de l'objectif.

Le modèle est conçu d'après les démarches et les offres d'enseignement. Les variables utilisées sont conformes à celles qu'utilise le Ministère aux Universités, c'est à dire les postes (ressources humaines) et les finances. Ces variables représentent les ressources disponibles pour l'Université pour les objectifs de fonctionnement. En effet, l'Université étant divisée en un certain nombre de "secteurs" qui sont traités séparément, le plafond des ressources communes est leur seul lien.



Les ressources sont attribuées à chaque U.E.R. en termes de plafonds que chaque U.E.R. emploie selon les normes qu'elle se fixe. Chaque U.E.R. a développé sa propre structure en ce qui concerne la répartition des enseignants, le nombre des secrétaires et le personnel non-enseignant.

Il est normal que l'on doit tenir compte de ces différences (en termes de "coefficients techniques") et les faire figurer dans la forme des équations. Cependant, indépendamment des autres, chaque U.E.R. peut négocier avec l'organe central des changements dans les coefficients techniques, en tant qu'élément du procédé de planification.

#### 6.3.9. Les équations du modèle - forme générale :

On va présenter la forme générale des équations du modèle mathématique. Comme on disait plus haut, on suppose que les unités participant se sont accordées pour définir une fonction économique à optimiser.

Supposons pour le moment que nous sommes à la période  $t$ .

#### Programme principal :

Le programme principal contient les contraintes globales, qui "lient" les unités indépendantes entre elles. Ce sont les contraintes que l'Université peut "décider" de leur répartition. Notamment :

- les ressources financières,
- les postes d'enseignant.

Si notre Université est constituée de  $n$  U.E.R. ; notons :

$z_i$  le budget alloué à l'U.E.R.  $i$

$Z$  le budget total de l'Université

On doit avoir la relation :

$$(1) \quad \sum_{i=1}^n z_i \leq Z$$

En ce qui concerne maintenant les postes des enseignants. Si :

$w_i$  est le plafond de l'U.E.R.  $i$ , et  
 $W$  le plafond total de l'Université

On a la contrainte :

$$(2) \quad \sum_{i=1}^n w_i \leq W$$

Si on souhaite distinguer entre  $l$  catégories d'enseignants et on note  $x_{ik}$  ;  $i = 1, \dots, n$  ;  $k = 1, \dots, l$  le nombre de postes d'enseignants de catégorie  $k$  appartenant à la faculté  $i$ , on a évidemment la relation :

$$(2') \quad w_i = \sum_{k=1}^l x_{ik}$$

Et on peut écrire la relation (2) sous la forme :

$$(2'') \quad \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l x_{ik} \leq W$$

#### Programmes sectoriels :

On va décrire l'ensemble des relations qui sont propres au secteur (à l'U.E.R.)  $i$ .

En supposant que l'on distingue  $l$  catégories d'enseignant, la capacité d'enseignement pour l'U.E.R.  $i$  est :

$$(3) \quad \sum_{k=1}^l f_{ik} x_{ik}$$

où  $x_{ik}$  est le nombre d'enseignants de catégorie  $k$  appartenant à l'U.E.R.  $i$ , et

$f_{ik}$  est un coefficient technique qui caractérise la "productivité" de l'enseignant de catégorie  $k$ , par semaine.

Evidemment on a plusieurs variantes ; on peut par exemple utiliser la productivité réelle de l'enseignant, quand on connaît le nombre statutaire d'enseignement hebdomadaire (en supposant que le reste du temps est consacré à la recherche ou à des tâches administratives).

On peut aussi calculer la productivité moyenne. Si on distingue pas entre différentes catégories d'enseignants, on peut calculer une productivité moyenne qui caractérise l'U.E.R. en question en tenant compte aussi du personnel non enseignant, secrétaires, techniciens,...

L'élément générique  $f_{ik} x_{ik}$  indique donc le nombre d'heures d'enseignement par semaine fourni par les enseignants de la catégorie k.

Si on définit  $x_i$  une variable d'écart qui exprime la demande insatisfaite, on a la relation :

$$(4) \quad \sum_{k=1}^1 f_{ik} x_{ik} + x_i \geq D_i$$

où  $D_i$  exprime la demande d'enseignement hebdomadaire de l'U.E.R. i.

Remarque : Dans l'application, si dans une U.E.R. on a, en fait, une surcapacité d'enseignement, on doit introduire encore une variable et écrire  $x_i = x_i^+ - x_i^-$ , puisque la technique de la programmation linéaire n'accepte pas de variables négatives.

Définissons  $g_{ik}$  un coefficient technique qui caractérise le coût annuel d'un enseignant de la catégorie k, alors le coût de l'U.E.R. i est :

$$(5) \quad \sum_{k=1}^1 g_{ik} x_{ik} \leq z_i$$

où  $z_i$  a été défini dans la relation (2)

Remarque : Le mot coût paraît assez anodin, mais il ne faut pas négliger les difficultés qu'on trouve pour le définir. Il faut bien définir chaque fois que l'on utilise le modèle ce qu'on inclue et de toute façon on doit appliquer les mêmes conventions pour chaque U.E.R.

Il nous reste maintenant à exprimer mathématiquement jusqu'à quel point les enseignants d'une catégorie peuvent prendre la place des enseignants d'une autre catégorie (exemple, un maître-assistant peut-il remplacer un professeur ?).

On peut représenter ces types de relations par :

$$(6) \quad h_{ik} x_{ik} \leq \alpha_k W_i, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

où  $h_{ik}$  est un coefficient technique  
 $w_i$  le potentiel humain de l'U.E.R.  $i$   
 et  $\alpha_k$  une constante t.q.  $0 < \alpha_k \leq 1$

ou

$$(6') \quad f_{ik} x_{ik} \leq \beta_k D_i, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

où  $f_{ik}$  la "productivité de la catégorie  $k$   
 $D_i$  la demande d'enseignement hebdomadaire  
 $\beta_k$  une constante t.q.  $0 < \beta_k \leq 1$

Fonction objectif :

On touche ici un autre point délicat. On sait bien qu'en général c'est difficile quand il s'agit d'un ensemble d'unités d'aboutir à un objectif commun. Pour l'Université les difficultés se multiplient. (Essayez de discuter avec des enseignants en disant qu'il faut minimiser le coût de fonctionnement ou maximiser la "rentabilité").

Nous pensons qu'à l'heure actuelle, si on veut qu'un modèle puisse être appliqué à l'Université, il doit être adopté par l'ensemble des universitaires, (le fameux consensus pour choisir la fonction-objectif).

Nous pensons donc qu'une telle fonction objectif peut être celle qui minimise l'écart entre la capacité d'enseignement et la demande dans chaque U.E.R.

L'optimisation ne suppose pas un coût minimum, mais dépend des caractéristiques structurelles de chaque U.E.R. (nombre d'enseignants, taux d'encadrement, taille des classes). On peut se convaincre facilement que malgré sa simplicité apparente, cette fonction-objectif, constitue un critère très agrégé qui résume beaucoup de préoccupations des universitaires. (Prenons par exemple le cas de la recherche laquelle notre fonction-objectif ne fait pas intervenir explicitement. Si on estime que les enseignants ne disposent pas d'assez de temps pour la recherche on peut modifier les coefficients techniques, de sorte qu'ils puissent consacrer une plus grande partie à leurs activités de recherche. Ceci va créer une nouvelle situation dans la mesure où les écarts  $x_i$  vont être plus importants, et le problème du nombre de postes titulaires et du budget va se poser).

Ainsi, notre fonction-objectif est :

$$(7) \quad \sum_{i=1}^n c_i x_i = J \longrightarrow (\min)$$

où  $x_i$  est l'écart (demandes non-satisfaites)

et  $c_i$  coefficient de pondération qui exprime la priorité des demandes (plus  $c_i$  est grand plus la priorité est grande).

Pour utiliser ce modèle sur une période de plusieurs années il faut lui incorporer une autre catégorie des contraintes qui établiront le lien entre chaque période de temps.

#### Contraintes de transition :

Ces contraintes, on peut les obtenir en écrivant la relation qui doit exister entre le nombre du personnel enseignant l'année  $t$  et l'effectif enseignant l'année  $t+1$ .

La forme générale,

$$(8) \quad x_{ik}^t \leq \lambda_k^t x_{ik}^{t+1}, \quad k = 1, 2, \dots, l$$

où  $\lambda_k^t$  est un coefficient qui nous permet de caractériser le fait que certaines catégories d'enseignants peuvent être réduites s'il existe une capacité excédentaire d'enseignement.

L'objectif doit couvrir aussi toute la période de planification et il doit être modifié en conséquence :

$$(9) \quad \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n c_i^t x_i^t = J \longrightarrow (\min)$$

Si on souhaite accorder une priorité, soit parce qu'on estime que l'on doit rattraper un déséquilibre dès la première année, soit parce que des erreurs dans les prévisions augmentent avec le temps, on pense qu'une diminution est associée aux valeurs de la fonction-objectif pour les périodes à venir. On est amené à une fonction-objectif actualisée :

$$(9') \quad \sum_{t=1}^T \beta_t \sum_{i=1}^n c_i^t x_i^t = J \longrightarrow \min, \quad \text{où} \quad \begin{aligned} \beta_1 &= 1 \\ \beta_t &\leq 1, \quad t = 2, 3, \dots, T \end{aligned}$$

#### 6.3.10. Utilisation du modèle :

Utilisation interne. Dans le cas d'un modèle résolu centralement, l'utilisation interne principale de cette procédure peut être la programmation d'une "offre ouverte" pour la négociation des attributions de ressources tactiques. Evidemment on ne peut pas réduire le nombre des postes qui sont en excédent mais il est possible peut être de redistribuer au moins quelques ressources en réduisant par exemple le budget de fonctionnement. Dans les premières phases de l'exécution, la principale utilisation interne de cette procédure de planification devra servir en quelque sorte d'instrument moniteur que l'organe central de coordination peut utiliser pour surveiller le fonctionnement du système. Il pourra ainsi évaluer des nouvelles politiques visant à une meilleure répartition des ressources internes.

Utilisation externe. Le modèle nous fournit aussi des résultats que l'on peut exploiter non seulement à l'intérieur de l'Université mais aussi capables de jouer comme données un rôle important pour des accords avec le Ministère aux Universités.

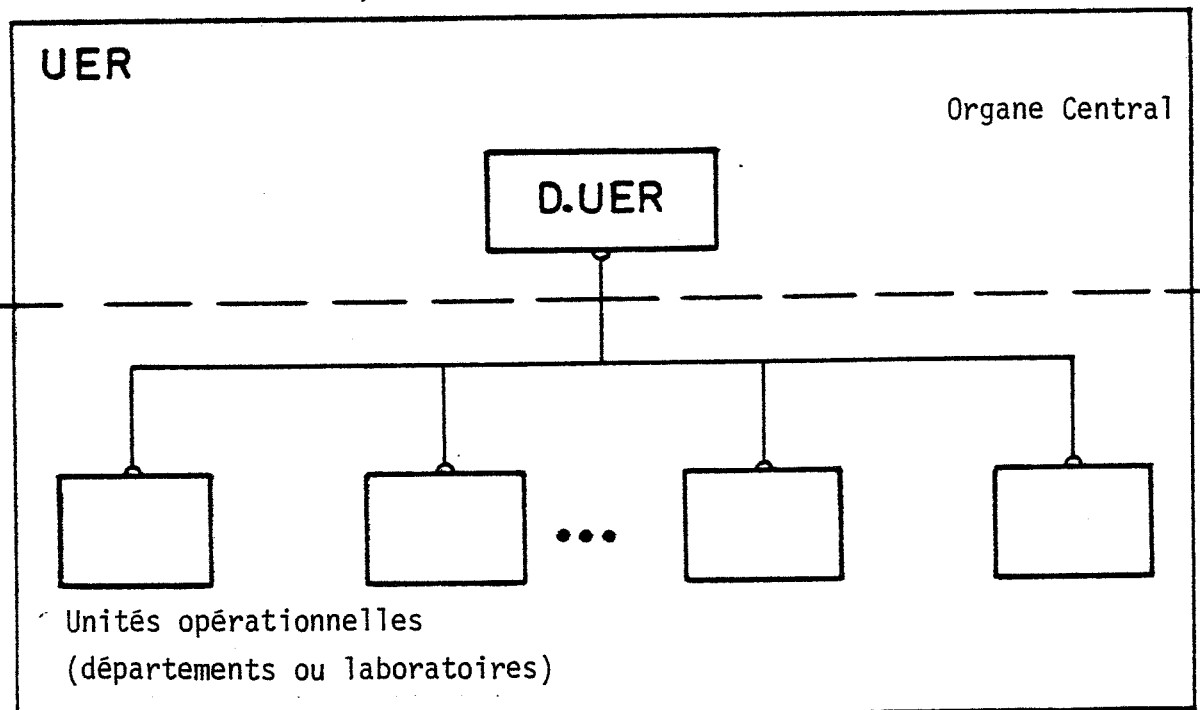
Dès que l'Université a reçu les plafonds de départ, on essaie le modèle et on en déduit une solution optimale. Si cette solution révèle des demandes insatisfaites, l'organe central peut alors se retourner vers le Ministère et négocier plus de ressources pour satisfaire les demandes. Dans cette négociation, le "sous-produit" du programme linéaire, c'est à dire les prix implicites, joue un rôle important.

Quand le Ministère vérifie les prix implicites de toutes les U.E.R., il se peut que certaines aient une forte demande de potentiel humain et que d'autres aient des prix implicites faibles sur le budget de fonctionnement. Il peut alors commencer une redistribution des plafonds de départ de façon à déplacer les ressources des U.E.R. à prix faibles et les attribuer aux U.E.R. à prix implicites élevés.

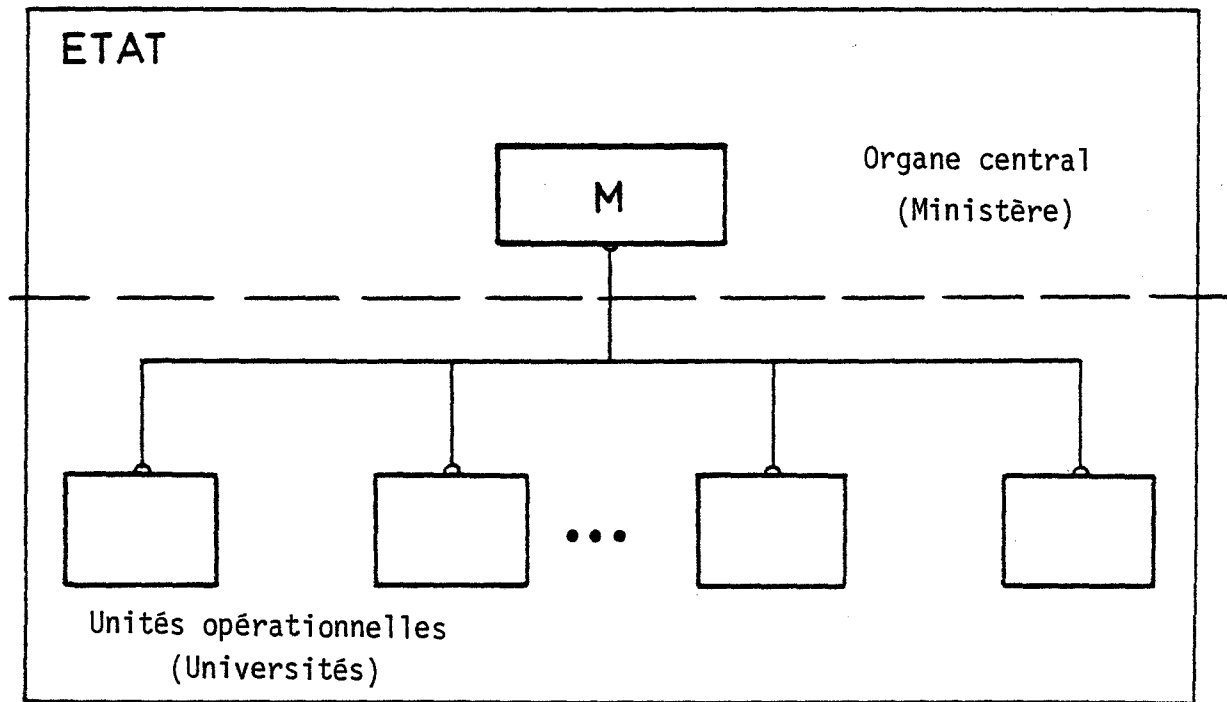
Après chaque répétition, toute université doit résoudre son modèle et programmer une nouvelle série de prix implicites qui à leur tour sont envoyés au Ministère pour examen supplémentaire.

Remarquons enfin qu'un autre avantage de cette façon de modeliser est la possibilité d'utiliser le même formalisme d'une manière récurrente dans la mesure où la caractéristique principale, i.e. système à deux niveaux avec organe central et unités opérationnelles qui possède une certaine autonomie, peut être vérifiée :

Au niveau de chaque U.E.R.



ou au niveau national :







## 3E PARTIE



## CHAPITRE 7

APPLICATION DES MODELES PRESENTES  
A UNE UNIVERSITE



*Application à l'Université de SAINT-ETIENNE*

1. A partir des séries chronologiques qui donnent le nombre de nouveaux inscrits. On effectue des prévisions pour les quatre années à venir : (voir les listings présentés à la fin de ce paragraphe)

	1979-80	80-81	81-82	82-83
DROIT	263	269	274	280
ECO	128	130	131	134
SCIENCES	224	229	234	239
LETTRES	350	353	355	358

En appliquant toujours l'algorithme du chapitre 4 on a estimé les taux de transitions pour chaque niveau et chaque UER, sur la base des taux des années précédentes.

Pour les taux de transitions on a effectué les prévisions pour une seule année, et ensuite on a supposé que les taux restent constants pour toutes les années de simulation (c'est à dire 4 années).

Les résultats pour les taux de succès sont

	DROIT	ECO	SCIENCES	LETTRES
niveau 1	0,28	0,40	0,23	0,17
niveau 2	0,52	0,72	0,37	0,27
niveau 3	0,71	0,56	0,40	0,36
niveau 4	0,71	0,92	0,80	0,72

Et pour les taux de redoublement :

	DROIT	ECO	SCIENCES	LETTRES
niveau 1	0,30	0,30	0,29	0,40
niveau 2	0,27	0,19	0,34	0,40
niveau 3	0,26	0,29	0,32	0,33
niveau 4	0,24	0,07	0,20	0,26

## 2. Simulation, dynamique des systèmes

En annexe du paragraphe, on fournit quelques résultats, à titre indicatif, des résultats obtenus (pages :

Note : Pour mieux dégager les courbes indiquant l'évolution du système, on les a tracées pour une période de 10 ans, et pour les dernières années on a pris le même effectif de nouveaux inscrits (dernière prévision).

### *Simulation à partir du modèle markovien*

Le modèle est présenté sous forme conversationnel les modules sont les suivants :

DON : Saisie des données pour l'évaluation de la répartition des étudiants

FLUXE : le programme de simulation

DONENS : Saisie des données pour évaluer les demandes d'enseignement

DEMENS : Calcul des demandes d'enseignement

DONCAPA : Saisie des données pour l'évaluation de la capacité d'enseignement, et du budget

CAPAENS : Il fournit la "capacité" d'enseignement et des ratio entre les diverses catégories d'enseignants et des étudiants.

BUDGET : Calcul le budget par UER et par niveau sur la base des postes budgétaires.

## 3. Illustration du modèle de planification pour quatre années

On suppose que le Ministère fixe le nombre de postes budgétaires par année, et un plafond pour le budget.

Les équations du modèle sont les suivantes :

*Hypothèses* : on considère deux catégories d'enseignants, la première contient les professeurs, les maîtres de conférence et les maîtres assistants, la seconde les assistants.

Les coefficients de "productivité" sont les nombres d'heures statutaires de chaque catégorie.

Ainsi pour la première année on a :

$$(1) \quad 4, 2 x_1 + 6 x_2 + x_{13} \geq 210$$

$$(2) \quad 3 x_3 + 6 x_4 + x_{11} \geq 293$$

$$(3) \quad 5 x_5 + 9 x_6 + x_{15} \geq 355$$

$$(4) \quad 5 x_7 + 6 x_8 + x_{16} \geq 593$$

Les équations (1) - (4) expriment la capacité d'enseignement (1) correspond à l'UER de Droit, (2) à l'UER des Sciences Economiques, (3) à l'UER

des Sciences et (4) à l'UER des Lettres.

Par exemple,  $x_1$  le nombre d'enseignants de la première catégorie,  $x_2$  le nombre d'assistants, et  $x_{13}$  c'est "l'écart" en nombre d'heures, 210 est la demande d'enseignement (hebdomadaire) évaluée précédemment (DEMENS)

Et d'une manière analogue sont formées les équations (2), (3) et (4). Pour l'UER des lettres, équation (4), on a considéré la charge d'enseignement que les enseignants doivent satisfaire, en tenant compte des besoins des autres UER pour l'enseignement des langues.

$$(5) \quad x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} \leq 19800$$

L'équation (5) est l'équation du budget

où  $x_9$  : budget de l'UER de Droit,  $x_{10}$  le budget de Sciences Eco ;  $x_{11}$  le budget de l'UER des Sciences et  $x_{12}$  celui des Lettres, 19800 est le plafond du budget pour l'ensemble de l'Université.

$$(6) \quad x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \leq 184$$

Contrainte du personnel.

$$(7) \quad 6 x_2 \leq 120$$

$$(8) \quad 6 x_4 \leq 169$$

$$(9) \quad 9 x_6 \leq 242$$

$$(10) \quad 6 x_8 \leq 396$$

Les contraintes (7) - (10) concernant la charge d'enseignement des assistants. On suppose que les assistants n'assurent pas de cours magistraux, ainsi les coefficients des membres droits indiquent le nombre d'heures et T.P ou de T.D par semaine (évaluer à DEMENS).

$$(11) \quad x_1 \geq 10$$

$$(12) \quad x_2 \geq 12$$

$$(13) \quad x_3 \geq 6$$

$$(14) \quad x_4 \geq 6$$

$$(15) \quad x_5 \geq 45$$



$$(16) \quad x_6 \geq 18$$

$$(17) \quad x_7 \geq 52$$

$$(18) \quad x_8 \geq 32$$

Les contraintes (11) - (18) expriment les conditions initiales, concernant la répartition des enseignants.

$$(19) \quad 130 x_1 + 75 x_2 - x_9 = 0$$

$$(20) \quad 130 x_3 + 75 x_4 - x_{10} = 0$$

$$(21) \quad 130 x_5 + 75 x_6 - x_{11} = 0$$

$$(22) \quad 130 x_7 + 75 x_8 - x_{12} = 0$$

(19) - (22) contraintes budgétaires : le coût (moyen) du personnel de chaque UER, doit être égal au budgétalloué.

Pour la deuxième année

$$(23) \quad 4, 2 x_{17} + 6 x_{18} + x_{29} \geq 201$$

$$(24) \quad 3 x_{19} + 6 x_{20} + x_{30} \geq 282 \quad \text{Equation d'enseignement}$$

$$(25) \quad 5 x_{21} + 9 x_{22} + x_{31} \geq 351$$

$$(26) \quad 5 x_{23} + 6 x_{24} + x_{32} \geq 476$$

$$(27) \quad x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} \leq 20200 \quad \text{Contrainte budgétaire}$$

$$(28) \quad x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 187 \quad \text{Contrainte du personnel}$$

$$(29) \quad 6 x_{18} \leq 121$$

$$(30) \quad 6 x_{20} \leq 158 \quad \text{Charge d'enseignement des assistants}$$

$$(31) \quad 9 x_{22} \leq 222$$

$$(32) \quad 6 x_{24} \leq 290$$

$$(33) \quad x_1 - x_{17} \leq 0$$

$$(34) \quad x_2 - x_{18} \leq 0$$

$$(35) \quad x_3 - x_{19} \leq 0$$

$$(36) \quad x_4 - x_{20} \leq 0$$

$$(37) \quad x_5 - x_{21} \leq 0$$

$$(38) \quad x_6 - x_{22} \leq 0$$

$$(39) \quad x_7 - x_{23} \leq 0$$

$$(40) \quad x_8 - x_{24} \leq 0$$

Equations de transition entre les années.

L'équation (33) par exemple exprime que le nombre d'enseignants de la seconde catégorie, pour la deuxième année de planification :  $x_{17}$  ne peut être inférieur du nombre correspondant de la première année :  $x_1$ .

(41)	$130 x_{17} + 75 x_{18} - x_{25} = 0$	
(42)	$130 x_{19} + 75 x_{20} - x_{26} = 0$	
(43)	$130 x_{21} + 75 x_{22} - x_{27} = 0$	Contrainte
(44)	$130 x_{23} + 75 x_{24} - x_{28} = 0$	budgétaire

Pour la troisième année :

(45)	$4, 2 x_{33} + 6 x_{34} + x_{45} \geq 194$
(46)	$3 x_{35} + 6 x_{36} + x_{46} \geq 282$
(47)	$5 x_{37} + 9 x_{38} + x_{47} \geq 347$
(48)	$5 x_{39} + 6 x_{40} + x_{48} \geq 405$
(49)	$x_{41} + x_{42} = x_{43} + x_{44} \leq 20600$
(50)	$x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} \leq 190$
(51)	$6 x_{34} \leq 104$
(52)	$6 x_{36} \leq 158$
(53)	$9 x_{38} \leq 218$
(54)	$6 x_{40} \leq 219$
(55)	$x_{17} - x_{33} \leq 0$
(56)	$x_{18} - x_{34} \leq 0$
(57)	$x_{19} - x_{35} \leq 0$
(58)	$x_{20} - x_{36} \leq 0$
(59)	$x_{21} - x_{37} \leq 0$
(60)	$x_{22} - x_{38} \leq 0$
(61)	$x_{23} - x_{39} \leq 0$
(62)	$x_{24} - x_{40} \leq 0$
(63)	$130 x_{33} + 75 x_{34} - x_{41} = 0$
(64)	$130 x_{35} + 75 x_{36} - x_{42} = 0$
(65)	$130 x_{37} + 75 x_{38} - x_{43} = 0$
(66)	$130 x_{39} + 75 x_{40} - x_{44} = 0$

Pour la quatrième année :

$$(67) \quad 4, 2 x_{49} + 6 x_{50} + x_{61} \geq 181$$

$$(68) \quad 3 x_5 + 6 x_{52} + x_{62} \geq 248$$

$$(69) \quad 5 x_{53} + 9 x_{54} + x_{63} \geq 347$$

$$(70) \quad 5 x_{55} + 6 x_{56} + x_{64} \geq 405$$

$$(71) \quad x_{57} + x_{58} + x_{59} + x_{60} \leq 21000$$

$$(72) \quad x_{49} + x_{50} + x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} \leq 193$$

$$(73) \quad 6 x_{50} \leq 91$$

$$(74) \quad 6 x_{52} \leq 124$$

$$(75) \quad 9 x_{54} \leq 218$$

$$(76) \quad 6 x_{56} \leq 230$$

$$(77) \quad x_{33} - x_{49} \leq 0$$

$$(78) \quad x_{34} - x_{50} \leq 0$$

$$(79) \quad x_{35} - x_{51} \leq 0$$

$$(80) \quad x_{36} - x_{52} \leq 0$$

$$(81) \quad x_{37} - x_{53} \leq 0$$

$$(82) \quad x_{38} - x_{54} \leq 0$$

$$(83) \quad x_{39} - x_{55} \leq 0$$

$$(84) \quad x_{40} - x_{56} \leq 0$$

$$(85) \quad 130 x_{49} + 75 x_{50} - x_{57} = 0$$

$$(86) \quad 130 x_{51} + 75 x_{52} - x_{58} = 0$$

$$(87) \quad 130 x_{53} + 75 x_{54} - x_{59} = 0$$

$$(88) \quad 130 x_{55} + 75 x_{56} - x_{60} = 0$$

*Fonction objectif*

$$\min \leftarrow J = x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64}.$$

A N N E X E

RESULTATS



## DROIT , EXEMPLE CHOII

160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

DROIT

DROIT

DROIT

PROBABILITE DE DEPART : 9 .003 .003 .095

4

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

CHOIX : LIGAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

CHOIX : POIDS DU PASSE

CHOIX : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE A CHOIX

PAGEMENT DE LIGAGE POUR LES PROBA : .89

NOMBRE DE PERIODES A EFFECTUER : 4

LE DECALOR DE BOMMES PRIS EST 'HJ'

PROBA POUR LA PERIODE :

PERIODE 1 : 262.254

PERIODE 2 : 268.194

PERIODE 3 : 274.134

PERIODE 4 : 280.074

0.349

YOF

VALEURS DE QUELLE METHODE ALF : F

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES

A BOMMES PERIODES



SCIENTIFICS  
110 122 140 150 172 159 174 183 264 330 352

SCIENCES , CH011

PO-SCIENCES

PO-SCIENCE SCIENCES

PREV  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOIX : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOIX : MOIES DU PASSE  
CHOIX : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CH011  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER : 4  
LE VECTEUR DE DONNEES PRI9 EST 'HH'  
PROBA ADONTE LA PREVISION : 0.767 0.007 0.003 0.222  
PREVISION 1 1 223.726  
PREVISION 2 1 228.664  
PREVISION 3 1 233.682  
PREVISION 4 1 238.541

TER  
VALEURS DE QUELLE METHODE ALZF : F

\*\*\*\*\*  
\* LOGIERS \* PREVISIONS \*  
\*\*\*\*\*  
\* 110.0 \* 110.0 \*  
\* 122.0 \* 110.0 \*  
\* 140.0 \* 114.0 \*  
\* 150.0 \* 114.3 \*  
\* 159.0 \* 119.5 \*  
\* 172.0 \* 122.3 \*  
\* 159.0 \* 130.2 \*  
\* 174.0 \* 119.7 \*  
\* 183.0 \* 125.2 \*  
\* 264.0 \* 170.6 \*  
\* 330.0 \* 180.8 \*  
\* 352.0 \* 200.0 \*  
\* 223.7 \* 213.7 \*  
\* 228.7 \* 216.7 \*  
\* 233.6 \* 223.6 \*  
\* 238.5 \* 230.8 \*  
\* 243.5 \* 243.8 \*  
\*\*\*\*\*





TXSUCCESDROIT1  
23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 25 24 23

HH-TXSUCCESDROIT1

GG-ECHOUX TXSUCCESDROIT1

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.931 0.002 0.003 0.064  
PREVISION 1 : 27.4371

TXSUCCESDROIT2  
32 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52

HH-TXSUCCESDROIT2

GG-ECHOUX TXSUCCESDROIT2

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.869 0.004 0.003 0.124  
PREVISION 1 : 51.4386

TXSUCCESDROIT3  
68 70 69 68 67 66 65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

HH-TXSUCCESDROIT3

GG-ECHOUX TXSUCCESDROIT3

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.867 0.004 0.003 0.126  
PREVISION 1 : 73.3214

TXSUCCESDROIT4  
65 64 63 62 61 60 59 58 57 56 55 54 53 52 51 50 49 48 47 46 45 44 43 42 41 40 39 38 37 36 35 34 33 32 31 30 29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

HH-TXSUCCESDROIT4

GG-ECHOUX TXSUCCESDROIT4

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.884 0.003 0.003 0.109  
PREVISION 1 : 70.3238

TXSUCCESEC01  
76 78 79 79 83 41 49 51 43 39 36

HH-TXSUCCESEC01

U0-ECAVAR TXSUCCESEC01

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.861 0.004 0.003 0.132  
PREVISION 1 : 39.1376

TXSUCCESEC02  
77 78 76 79 79 79 81 84 61 68 43

HH-TXSUCCESEC02

U0-ECAVAR TXSUCCESEC02

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.850 0.004 0.003 0.142  
PREVISION 1 : 72.0749

TXSUCCESEC03  
52 53 54 53 55 54 56 70 53 54 62

HH-TXSUCCESEC03

U0-ECAVAR TXSUCCESEC03

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.879 0.004 0.003 0.114  
PREVISION 1 : 55.7279

TXSUCCESEC04  
94 97 98 97 96 97 95 98 94 92 70

HH-TXSUCCESEC04

U0-ECAVAR TXSUCCESEC04

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.892 0.003 0.003 0.102  
PREVISION 1 : 93.9678

HH-TXSUCCESSCIENCES1

UO+TXSUCCESSCIENCES1

PREV  
 PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .694  
 LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
 CHOIX 1: LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
 CHOIX 2: POIDS DU PASSE  
 CHOIX 3: PROBA CONSTANTE :  
 CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX 1  
 PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .94  
 NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
 LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
 PROBA AVANT LA PREVISION : 0.892 0.003 0.003 0.102  
 PREVISION 1 : 22.1793

HH-TXSUCCESSCIENCES2

PREV

UO+TXSUCCESSCIENCES2

PREV

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
 LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
 CHOIX 1: LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
 CHOIX 2: POIDS DU PASSE  
 CHOIX 3: PROBA CONSTANTE :  
 CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX 1  
 PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .95  
 NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
 LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
 PROBA AVANT LA PREVISION : 0.873 0.004 0.003 0.120  
 PREVISION 1 : 26.6709

HH-TXSUCCESSCIENCES3

UO+TXSUCCESSCIENCES3

PREV

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
 LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
 CHOIX 1: LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
 CHOIX 2: POIDS DU PASSE  
 CHOIX 3: PROBA CONSTANTE :  
 CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX 1  
 PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
 NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
 LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
 PROBA AVANT LA PREVISION : 0.893 0.003 0.003 0.100  
 PREVISION 1 : 40.9669

HH-TXSUCCESSCIENCES3

4

UO+TXSUCCESSCIENCES3

PREV

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
 LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
 CHOIX 1: LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
 CHOIX 2: POIDS DU PASSE  
 CHOIX 3: PROBA CONSTANTE :  
 CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOIX 1  
 PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
 NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
 LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
 PROBA AVANT LA PREVISION : 0.857 0.004 0.003 0.136  
 PREVISION 1 : 01.4582

HH-TXSUCCESELETTRES1

UD-ECAVAR HH

PREU

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

\_CHOI2 : POIDS DU PASSE

\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1

PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.099 0.003 0.003 0.104

PREVISION 1 : 16.9367

HH-TXSUCCESELETTRES2

UD-ECAVAR HH

PREU

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

\_CHOI2 : POIDS DU PASSE

\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1

PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.032 0.005 0.003 0.160

PREVISION 1 : 26.546

HH-TXSUCCESELETTRES3

UD-ECAVAR HH

PREU

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

\_CHOI2 : POIDS DU PASSE

\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1

PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.856 0.004 0.003 0.136

PREVISION 1 : 35.8191

HH-TXSUCCESELETTRES4

UD-ECAVAR HH

PREU

PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094

LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :

\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T

\_CHOI2 : POIDS DU PASSE

\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :

CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1

PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96

NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1

LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'

PROBA AVANT LA PREVISION : 0.891 0.003 0.003 0.102

PREVISION 1 : 71.4621

TXREDEC01  
21 18 17 19 20 16 17 24 27 39 37 20

HH-TXREDEC01

VB-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER : 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.923 0.002 0.003 0.071  
PREVISION 1 : 29.0023

TXREDEC02  
20 19 18 20 23 21 20 17 13 31 17 21

HH-TXREDEC02

VB-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER : 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.885 0.003 0.003 0.108  
PREVISION 1 : 18.7151

TXCEDEC03  
21 18 17 19 20 16 17 24 27 39 37 20

HH-TXREDEC03

VB-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .024  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER : 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.864 0.004 0.003 0.129  
PREVISION 1 : 28.9308

TXREDEC04  
8 7 4 3 0 3 5 4 2 6 8 8

HH-TXREDEC04

VB-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER : 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.920 0.002 0.003 0.074  
PREVISION 1 : 6.32074

TXREDDROIT1  
20 24 23 25 25 24 26 28 30 27 20 24

HH+TXREDDROIT1

U0+CAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTATTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.883 0.003 0.003 0.110  
PREVISION 1 : 30.5003

TXREDDROIT2  
28 29 27 26 26 30 27 30 37 23 25 28

HH+TXREDDROIT2

U0+CAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTATTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.894 0.003 0.003 0.099  
PREVISION 1 : 26.2831

TXREDDROIT3  
20 24 23 25 25 24 26 28 30 27 20 24

HH+TXREDDROIT3

U0+CAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTATTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.921 0.002 0.003 0.073  
PREVISION 1 : 27.6863

TXREDDROIT4  
22 20 21 21 21 24 23 22 27 26 19 24

HH+TXREDDROIT4

U0+CAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTATTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.906 0.003 0.003 0.087  
PREVISION 1 : 23.9715

TXREDSCIENCES1  
25 30 35 38 39 40 38 30 25 20 20

HH-TXREDSCIENCES1

UO+ECARER HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.070 0.004 0.003 0.123  
PREVISION 1 : 28.0159

TXREDSCIENCES2  
35 37 36 38 39 40 41 45 61 33 30 36

HH-TXREDSCIENCES2

UO+ECARER HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.956 0.001 0.000 0.042  
PREVISION 1 : 33.994

TXREDSCIENCES3  
27 28 26 29 31 30 39 38 39 21 15 20

HH-TXREDSCIENCES3

UO+ECARER HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.000 0.006 0.003 0.103  
PREVISION 1 : 31.4121

TXREDSCIENCES4  
31 29 33 32 30 34 32 35 32 28 20 20

HH-TXREDSCIENCES4

UO+ECARER HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
\_CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
\_CHOI2 : POIDS DU PASSE  
\_CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.093 0.003 0.003 0.101  
PREVISION 1 : 29.1298



TXREDLETTRES1  
31 30 32 33 33 33 31 30 34 20 34 32

HH-TXREDLETTRES1

U0-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.827 0.005 0.003 0.165  
PREVISION 1 : 39.6785

TXREDLETTRES2  
37 35 36 39 39 40 36 38 41 39 42 15

HH-TXREDLETTRES2

U0-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.894 0.003 0.003 0.100  
PREVISION 1 : 39.4107

TXREDLETTRES3  
31 30 32 33 33 33 31 30 34 20 34 32

HH-TXREDLETTRES3

U0-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.922 0.002 0.003 0.072  
PREVISION 1 : 32.2491

TXREDLETTRES4  
25 24 23 21 23 27 29 30 27 25 24 26

HH-TXREDLETTRES4

U0-ECAVAR HH

PREU  
PROBABILITE DE DEPART: .9 .003 .003 .094  
LES CHOIX DE TRAVAIL POSSIBLE SONT :  
CHOI1 : LISSAGE SUR LES PROBA A UN INSTANT T  
CHOI2 : POIDS DU PASSE  
CHOI3 : PROBA CONSTANTE :  
CHOIX DE TRAVAIL EFFECTUE : CHOI1  
PARAMETRE DE LISSAGE POUR LES PROBA : .96  
NOMBRE DE PREVISIONS A EFFECTUER: 1  
LE VECTEUR DE DONNEES PRIS EST 'HH'  
PROBA AVANT LA PREVISION : 0.916 0.002 0.003 0.079  
PREVISION 1 : 25.9522

PROG EDD

MODELE UNIVERSITE

\*\*\*\*\*

EFFECTIF DE CHAQUE ANNEE

\*\*\*\*\*

A1(K)=INSCR(J)  
A2(K)=P12(J)  
A3(K)=P23(J)+PR23(J)  
A4(K)=P34(J)  
R1(K)=P11(J)  
R2(K)=PR12(J)+P22(J)  
R3(K)=P33(J)  
R4(K)=PR34(J)+P44(J)

DIPLOMES EN 4 EME ANNEE

A5(K)=RS4(J)+RRS4(J)+R5(J)

CAS PARTICULIERS EN 3 ET 4 ANNEES

RR5(K)=(R3(J)\*PP33+R4(J)\*PP44)/100.  
R5(K)=DELAI 3(RR5,DUR)  
INSCR(K)=TABLE(POP,T,1,10,1)  
TABLE POP/266,352,289,298,307,316,316,316,316,316/

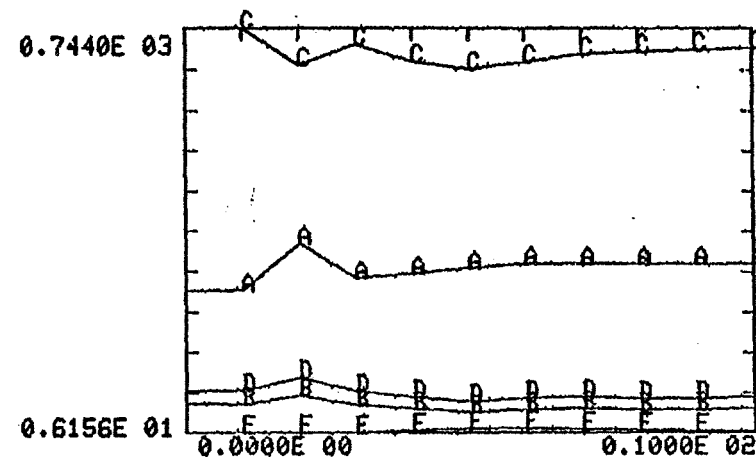
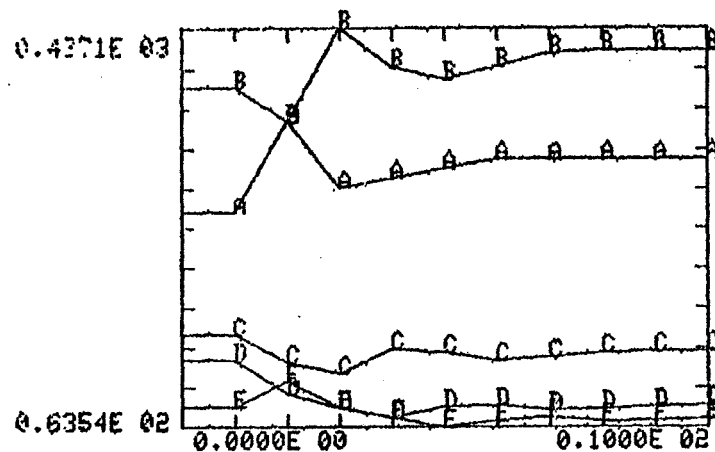
\*\*\*\*\*

EFFECTIF REDOUBLANT OU PASSANT AU NIVEAU SUPERIEUR

\*\*\*\*\*

P11(K)=PP11\*A1(K)/100.  
P12(K)=PP12\*A1(K)/100.  
PR12(K)=PPR12\*R1(K)/100.  
P22(K)=PP22\*A2(K)/100.  
P23(K)=PP23\*A2(K)/100.  
PR23(K)=PPR23\*R2(K)/100.  
P33(K)=PP33\*A3(K)/100.  
P34(K)=PP34\*A3(K)/100.  
PR34(K)=PPR34\*R3(K)/100.  
P44(K)=PP44\*A4(K)/100.  
RS4(K)=PRS34\*A4(K)/100.  
RRS4(K)=PPRS4\*R4(K)/100.  
TOT1(K)=A1(K)+R1(K)  
TOT2(K)=R2(K)+A2(K)  
TOT3(K)=A3(K)+R3(K)  
TOT4(K)=R4(K)+A4(K)  
TOT5(K)=RS4(K)+RRS4(K)  
TOT(K)=TOT1(K)+TOT2(K)+TOT3(K)+TOT4(K)  
FIN

INIT  
TOT1=383  
TOT2=151  
TOT3=127  
TOT4=83  
TOT=744  
TOT5=60  
DUR=4  
PP12=27  
PPR12=27  
PP23=50  
PPR23=50  
PP34=73  
PPR34=73  
PRS34=70  
PPRS4=70  
PP44=23  
PP22=27  
PP33=25  
PP11=32  
INSCR=266  
P12=79  
P23=78  
P34=63  
P22=72  
P11=117  
P33=49  
P44=20  
RS4=60



A	INSCR	MIN 0.2660E 03	MAX 0.3520E 03
B	TOT1	MIN 0.3511E 03	MAX 0.4371E 03
C	TOT2	MIN 0.1142E 03	MAX 0.1510E 03
D	TOT3	MIN 0.7269E 02	MAX 0.1270E 03
E	TOT4	MIN 0.6354E 02	MAX 0.1072E 03

A	INSCR	MIN 0.2660E 03	MAX 0.3520E 03
B	TOT5	MIN 0.4447E 02	MAX 0.7504E 02
C	TOT	MIN 0.6711E 03	MAX 0.7440E 03
D	TOT4	MIN 0.6354E 02	MAX 0.1072E 03
E	R5	MIN 0.6156E 01	MAX 0.1552E 02

AUTRE COURBE

1	2	3	4	5	6	7	8
INSCR	TOT1	TOT2	TOT3	TOT4	TOT5	TOT	R5
1	6	7	5	8			

\*\*\* MODELE EDU \*\*\*

INSCR TOTS	TOT1 TOT	TOT2 RS	TOT3	TOT4
---------------	-------------	------------	------	------

MINIMA DES VARIABLES

0.2660E 03	0.3511E 03	0.1142E 03	0.7269E 02	0.6354E 02
0.4447E 02	0.6711E 03	0.6156E 01		

MAXIMA DES VARIABLES

0.3520E 03	0.4371E 03	0.1510E 03	0.1270E 03	0.1072E 03
0.7504E 02	0.7440E 03	0.1552E 02		

\*\*\* T = 0.1000E 01 \*\*\*

0.2660E 03	0.3830E 03	0.1510E 03	0.1270E 03	0.8300E 02
0.5810E 02	0.7440E 03	0.7000E 01		

\*\*\* T = 0.2000E 01 \*\*\*

0.3520E 03	0.3511E 03	0.1247E 03	0.9500E 02	0.1072E 03
0.7504E 02	0.6781E 03	0.7000E 01	*** QUE VOULEZ-VOUS ?	
			1 COURBES	
			2 LISTE	

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.3000E 01 \*\*\*

0.2890E 03	0.4371E 03	0.1142E 03	0.8125E 02	0.8245E 02
0.5771E 02	0.7150E 03	0.6156E 01		

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.4000E 01 \*\*\*

0.2980E 03	0.4016E 03	0.1374E 03	0.7269E 02	0.7199E 02
0.5039E 02	0.6837E 03	0.1052E 02		

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.5000E 01 \*\*\*

0.3070E 03	0.3905E 03	0.1341E 03	0.8298E 02	0.6354E 02
0.4447E 02	0.6711E 03	0.1396E 02		

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.6000E 01 \*\*\*

0.3160E 03	0.4024E 03	0.1265E 03	0.8423E 02	0.7016E 02
0.4911E 02	0.6832E 03	0.1552E 02		

\*\*\*\*\*

## UER SCIENCES ECO

```

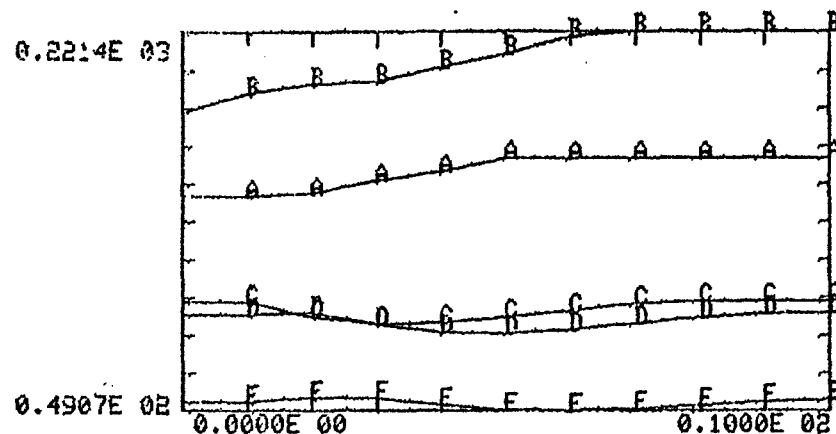
#### MODIFICATION VALEURS INITIALES
1  LISTE VALEURS INITIALES
2  MODIFICATION
3  FIN

```

```

1
A1      = 0.0000E 00
INSCR   = 0.1470E 03
A2      = 0.0000E 00
P12     = 0.8100E 02
A3      = 0.0000E 00
P23     = 0.7000E 02
PR23    = 0.0000E 00
A4      = 0.0000E 00
P34     = 0.4800E 02
R1      = 0.0000E 00
P11     = 0.4700E 02
R2      = 0.0000E 00
PR12    = 0.0000E 00
P22     = 0.1800E 02
R3      = 0.2300E 02
P33     = 0.2300E 02
R4      = 0.5000E 01
PR34    = 0.0000E 00
P44     = 0.5000E 01
A5      = 0.0000E 00
RS4     = 0.4700E 02
RRS4    = 0.0000E 00
R5      = 0.7000E 01
RR5     = 0.5000E 01
TOT1    = 0.1850E 03
TOT2    = 0.9900E 02
TOT3    = 0.9300E 02
TOT4    = 0.5300E 02
TOT5    = 0.4700E 02
TOT     = 0.4300E 03
PP33    = 0.3500E 02
PP44    = 0.3000E 01
DUR     = 0.4000E 01
POP      TABLE
PP11    = 0.3500E 02
PP12    = 0.3900E 02
PPR12   = 0.3900E 02
PP22    = 0.2000E 02
PP23    = 0.7000E 02
PPR23   = 0.7000E 02
PP34    = 0.5500E 02
PPR34   = 0.5500E 02
PPR34   = 0.9200E 02
PPR54   = 0.9200E 02
#### MODIFICATION VALEURS INITIALES
1  LISTE VALEURS INITIALES
2  MODIFICATION
3  FIN

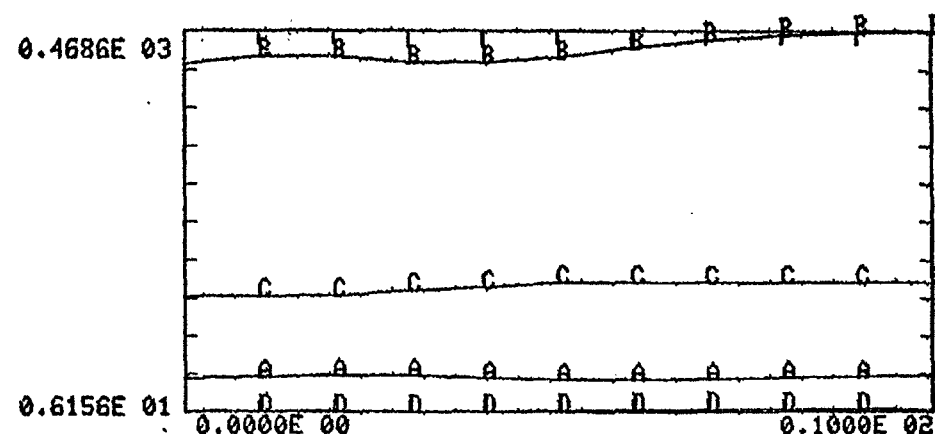
```



A	INSCR	MIN 0.1470E 03	MAX 0.1640E 03
B	TOT1	MIN 0.1850E 03	MAX 0.2214E 03
C	TOT2	MIN 0.8886E 02	MAX 0.9914E 02
D	TOT3	MIN 0.8425E 02	MAX 0.9380E 02
E	TOT4	MIN 0.4907E 02	MAX 0.5490E 02

AUTRE COURBE  
AUTRE COURBE

1	2	3	4	5	6	7	8
INSCR	TOT1	TOT2	TOT3	TOT4	TOT5	TOT	R5
6	7	1	8				



A	TOT5	MIN 0.4515E 02	MAX 0.5059E 02
B	TOT	MIN 0.4300E 03	MAX 0.4686E 03
C	INSCR	MIN 0.1470E 03	MAX 0.1640E 03
D	R5	MIN 0.6156E 01	MAX 0.9385E 01

\*\*\*\*\*

\*\*\* MODELE EDU \*\*\*

\*\*\*\*\*

INSOR TOT5	TOT1 TOT	TOT2 R5	TOT3	TOT4
---------------	-------------	------------	------	------

\*\*\*\*\*

MINIMA DES VARIABLES

0.1470E 03	0.1850E 03	0.8886E 02	0.8425E 02	0.4907E 02
0.4515E 02	0.4300E 03	0.6156E 01		

\*\*\*\*\*

MAXIMA DES VARIABLES

0.1640E 03	0.2214E 03	0.9914E 02	0.9380E 02	0.5499E 02
0.5059E 02	0.4686E 03	0.9385E 01		

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.1000E 01 \*\*\*

0.1470E 03	0.1940E 03	0.9900E 02	0.9300E 02	0.5300E 02
0.4876E 02	0.4390E 03	0.7000E 01		

\*\*\*\*\*

\*\*\* T = 0.2000



01.1111

0.1480E 03 0.1984E 03 0.9186E 02 0.9380E 02 0.5499E 02  
0.5059E 02 0.4391E 03 0.7000E 01

#### QUE VOULEZ-VOUS ?  
1 COURBES  
2 LISTE

\*\*\*\*\*

#### T = 0.3000E 01 ####

0.1540E 03 0.1994E 03 0.8886E 02 0.8856E 02 0.5467E 02  
0.5030E 02 0.4315E 03 0.6156E 01

\*\*\*\*\*

#### T = 0.4000E 01 ####

0.1580E 03 0.2058E 03 0.8925E 02 0.8471E 02 0.5176E 02  
0.4762E 02 0.4315E 03 0.6979E 01

\*\*\*\*\*

#### T = 0.5000E 01 ####

0.1640E 03 0.2119E 03 0.9181E 02 0.8425E 02 0.4942E 02  
0.4547E 02 0.4374E 03 0.7754E 01

\*\*\*\*\*

#### T = 0.6000E 01 ####

0.1640E 03 0.2193E 03 0.9465E 02 0.8613E 02 0.4907E 02  
0.4515E 02 0.4492E 03 0.8777E 01

\*\*\*\*\*

## DON

UER DROIT	1
UER SC ECO	2
UER SCIENCES	3
UER LETTRES	4

DONNEZ 1 A 4 NOMBRES ENTRE 1 ET 4

□:

1 2 3 4

VOUS AVEZ CHOISI :

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
DONNEZ LA DUREE

□:

4

DONNEZ LES INSCRIPTIONS PAR ANNEES ET UER

ANNEE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

263 128 224 350

ANNEE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

269 130 227 353

ANNEE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

274 131 234 355

ANNEE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

280 134 239 358

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

DONNEZ LES TAUX DE SUCCES PAR ANNEES ET PAR UER

ANNEE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .28 .40 .23 17  
 .17

ANNEE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .52 .72 .37 .27

ANNEE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .71 .56 .40 .36

ANNEE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .71 .92 .80 .72

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

0

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
0.28	0.40	0.23	0.17
0.52	0.72	0.37	0.27
0.71	0.56	0.40	0.36
0.71	0.92	0.80	0.72

OK (O/N) ?

0

DONNEZ LES TAUX DE REDOUBLEMENT

ANNEE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .30 .30 .29 .40

ANNEE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:  
 .27 .19 .34 .40

ANNEE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

.26 .29 .32 .33

ANNEE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

.24 .07 .20 .26

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

VOICI LES TAUX D'ABANDON

DROIT  
SC ECO  
SCIENC  
LETTRE

0.42	0.30	0.48	0.43
0.21	0.09	0.29	0.33
0.03	0.15	0.28	0.31
0.05	0.01	0.00	0.02

INITIALISATION DE ET

ANNEE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

383 185 416 512

ANNEE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

151 99 109 363

ANNEE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

127 93 64 292

ANNEE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

83 53 41 145

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

## DEBUT SIMULATION

## RESULTATS

## ANNEE 1

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
377.90	183.50	344.64	554.80
148.01	92.81	132.74	232.24
111.54	98.25	60.81	194.37
110.09	55.79	33.80	142.82

## TOTAL

747.54	430.35	571.99	1124.23
--------	--------	--------	---------

## ABANDONS

88.19	40.30	113.43	227.81
-------	-------	--------	--------

## DIPLOMES

78.16	51.33	27.04	102.83
-------	-------	-------	--------

## ANNEE 2

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
347.90	168.40	291.96	493.00
134.77	87.46	111.80	129.13
97.38	87.49	62.02	95.05
100.83	58.67	29.44	97.30

## TOTAL

680.88	402.02	495.22	814.48
--------	--------	--------	--------

## ABANDONS

182.38	72.10	189.93	286.01
--------	-------	--------	--------

## DIPLOMES

71.59	53.97	23.55	70.06
-------	-------	-------	-------

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
354.70	170.00	299.83	496.20
117.29	77.09	84.67	107.61
90.09	82.35	57.08	55.56
82.52	51.79	28.03	43.39

TOTAL

644.60	381.23	469.61	702.76
--------	--------	--------	--------

ABANDONS

180.43	70.81	184.45	266.97
--------	-------	--------	--------

DIPLOMES

58.59	47.65	22.43	31.24
-------	-------	-------	-------

ANNEE 4

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
362.20	173.30	306.86	500.00
119.65	77.88	86.71	108.36
79.21	73.76	44.56	40.56
77.08	48.73	26.76	25.87

TOTAL

638.14	373.68	464.90	674.79
--------	--------	--------	--------

ABANDONS

183.48	70.55	184.92	263.85
--------	-------	--------	--------

DIPLOMES

54.73	44.84	21.41	18.63
-------	-------	-------	-------

## DONENS

DONNEZ LA TAILLE DES CLASSES PAR NIVEAU DANS CHAQUE FACULTE  
POUR COURS MAGISTRAUX

ANNEE: 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

500 500 200 200

ANNEE: 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

500 500 200 200

ANNEE: 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

200 200 200 200

ANNEE: 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

200 200 200 200

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

DONNEZ LA TAILLE DES CLASSES PAR NIVEAU DANS CHAQUE FACULTE.  
POUR TP

ANNEE: 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

45 45 40 45

ANNEE: 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

45 45 40 45

ANNEE: 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

35 35 40 45

ANNEE: 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

35 35 40 45

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

DONNEZ LES HEURES D' ENSEIGNEMENTS PAR NIVEAU ET PAR FACULTE

ANNEE: 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

16 30 14 30

ANNEE: 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

16 30 18 60

ANNEE: 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

17 17 35 43

ANNEE: 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

45 17 28 0

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N



DONNEZ LES HEURES D'ENSEIGNEMENTS PAR NIVEAU ET PAR FACULTE  
POUR TP

ANNEE: 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
0:

3 6 16 7  
ANNEE: 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
0:

4 7 34 13  
ANNEE: 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
0:

4 4 60 50  
ANNEE: 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
0:

3 3 35 18  
VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?  
N

## RESULTATS

1 HEURES TOTALES  
 2 HEURES COURS MAGISTRAUX  
 3 HEURES TP

□:

2

ANNEE : 1

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
90.00	124.00	129.00	197.00

ANNEE : 2

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
90.00	124.00	129.00	180.00

ANNEE : 3

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
90.00	124.00	129.00	180.00

ANNEE : 4

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
90.00	124.00	129.00	180.00

1 HEURES TOTALES  
 2 HEURES COURS MAGISTRAUX  
 3 HEURES TP

□:

3

ANNEE : 1

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
120.00	169.00	226.00	316.00

ANNEE : 2

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
111.00	158.00	222.00	216.00

ANNEE : 3

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
104.00	158.00	218.00	145.00

ANNEE : 4

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
91.00	124.00	218.00	145.00

1 HEURES TOTALES  
 2 HEURES COURS MAGISTRAUX  
 3 HEURES TP

0:

1

ANNEE : 1

-----

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
210.00	293.00	355.00	513.00

ANNEE : 2

-----

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
201.00	282.00	351.00	396.00

ANNEE : 3

-----

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
194.00	282.00	347.00	325.00

ANNEE : 4

-----

DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE
181.00	248.00	347.00	325.00

1 HEURES TOTALES  
 2 HEURES COURS MAGISTRAUX  
 3 HEURES TP

0:

4

## DONCAPA

DONNEZ LE NOMBRE DE CATEGORIE D'ENSEIGNANTS

0:

4

- 1 PROFESSEUR
- 2 MAITRE DE CONF.
- 3 MAITRE ASSISTANT
- 4 ASSISTANT
- 5 NON TITULAIRE

RELAT EST LA MATRICE QUI CONTIENT :

POUR 1 NRE ETUDIANTS PAR PROFESSEUR

POUR 2 3 4 CATEGORIE CORRESPONDANT PAR PROFESSEUR

POUR 5 NRE DE NON TITULAIRES PAR ENSEIGNANTS

DONNEZ RELAT

ANNEE 1

CATEGORIE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:

125 142 772 80

CATEGORIE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:

.67 1 15 1.89

CATEGORIE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:

2 2 29 1.11

CATEGORIE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:

0 0 18 0

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

ANNEE 2

CATEGORIE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

0:

125 142 772 80

CATEGORIE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

.67 1 15 1.89

CATEGORIE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

2 2 29 1.11

CATEGORIE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

0 0 18 0

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

ANNEE 3

CATEGORIE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

125 142 772 80

CATEGORIE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

.67 1 15 1.89

CATEGORIE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

2 2 29 1.11

CATEGORIE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

0 0 18 0

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

ANNEE 4  
CATEGORIE : 1

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

125 142 772 80

CATEGORIE : 2

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

.67 1 15 1.89

CATEGORIE : 3

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

2 2 29 1.11

CATEGORIE : 4

4 VALEURS

DROIT SC ECO SCIENC LETTRE

□:

0 0 18 0

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

N

NL EST LA MATRICE CONTENANT LE NRE D'HEURE D'ENSEIGNEMENT STATUTAIRE  
PAR ENSEIGNANT DANS CHAQUE CATEGORIE

DONNEZ NL

CATEGORIE : 1

1 VALEURS

□:

3  
CATEGORIE : 2

1 VALEURS

□:

6  
CATEGORIE : 3

1 VALEURS

□:

6  
CATEGORIE : 4

1 VALEURS

□:

7.5  
VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?  
N

SALA EST LA MTRICE DES SALAIRES DE CHAQUE CATEGORIE  
 DONNEZ SALA

CATEGORIE : 1

1 VALEURS

0:

147 147

CATEGORIE : 2

1 VALEURS

0:

147

CATEGORIE : 3

1 VALEURS

0:

97

CATEGORIE : 4

1 VALEURS

0:

75

VOULEZ VOUS VERIFIER (O/N) ?

0

147.00

147.00

97.00

75.00

OK (O/N) ?

0



## CAPAENS

## NOMBRE DE PROFESSEURS PAR UER ET PAR ANNEE

ANNEE :	1			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
6.00	4.00	1.00	15.00	
ANNEE :	2			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
6.00	3.00	1.00	11.00	
ANNEE :	3			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
6.00	3.00	1.00	9.00	
ANNEE :	4			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
6.00	3.00	1.00	9.00	

## NOMBRE D'ENSEIGNANTS PAR PROFESSEUR PAR UER ET PAR ANNEE

ANNEE :	1			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
5.00	4.00	15.00	29.00	
12.00	8.00	29.00	17.00	
0.00	0.00	18.00	0.00	
ANNEE :	2			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
5.00	3.00	15.00	21.00	
12.00	6.00	29.00	13.00	
0.00	0.00	18.00	0.00	
ANNEE :	3			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
5.00	3.00	15.00	18.00	
12.00	6.00	29.00	10.00	
0.00	0.00	18.00	0.00	
ANNEE :	4			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
5.00	3.00	15.00	18.00	
12.00	6.00	29.00	10.00	
0.00	0.00	18.00	0.00	

## NOMBRE D'ENSEIGNANTS TITULAIRES

ANNEE :	1			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
23.00	16.00	63.00	61.00	
ANNEE :	2			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
23.00	12.00	63.00	45.00	
ANNEE :	3			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
23.00	12.00	63.00	37.00	
ANNEE :	4			
DROIT	SC ECO	SCIENC	LETTRE	
23.00	12.00	63.00	37.00	

NOMBRE D'HEURE D'ENSEIGNEMENT STATUTAIRE PAR ENSEIGNANT DANS  
CHACQUE CATEGORIE

ANNEE : 1  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 120.00 84.00 402.00 321.00  
 ANNEE : 2  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 120.00 63.00 402.00 237.00  
 ANNEE : 3  
 - DROIT - SC ECO SCIENC - LETTRE -  
 120.00 63.00 402.00 195.00  
 ANNEE : 4  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 120.00 63.00 402.00 195.00  
 NOMBRE D'ETUDIANTS PAR TITULAIRE

ANNEE : 1  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 32.50 26.90 9.08 18.43  
 ANNEE : 2  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 29.60 33.50 7.86 18.10  
 ANNEE : 3  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 28.03 31.77 7.45 18.99  
 ANNEE : 4  
 DROIT SC ECO SCIENC LETTRE  
 27.74 31.14 7.38 18.24

## BUDGET PAR UER ET PAR ANNEE

ANNEE : 1

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
882		588	147	2205
735		588	2205	4263
1164		776	2813	1649
0		0	1350	0

ANNEE : 2

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
882		441	147	1617
735		441	2205	3087
1164		582	2813	1261
0		0	1350	0

ANNEE : 3

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
882		441	147	1323
735		441	2205	2646
1164		582	2813	970
0		0	1350	0

ANNEE : 4

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
882		441	147	1323
735		441	2205	2646
1164		582	2813	970
0		0	1350	0

## BUDGET TOTAL

ANNEE : 1

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
2781		1952	6515	8117

ANNEE : 2

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
2781		1464	6515	5965

ANNEE : 3

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
2781		1464	6515	4939

ANNEE : 4

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
2781		1464	6515	4939

## COUT TOTAL PAR ETUDIANT ET PAR ANNEE

ANNEE : 1

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
3.72		4.54	11.39	7.22

ANNEE : 2

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
4.08		3.64	13.16	7.32

ANNEE : 3

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
4.31		3.84	13.87	7.03

ANNEE : 4

DROIT	SC	ECO	SCIENC	LETTRE
4.36		3.92	14.01	7.32

## SOLUTION

.99999501309814E+01  $x_1$   
 .11999943733215E+02  $x_2$   
 .60000905990601E+01  $x_3$   
 .61333650311035E+01  $x_4$   
 .44999923706055E+02  $x_5$   
 .18000030517578E+02  $x_6$   
 .52000198364258E+02  $x_7$   
 .31999862670898E+02  $x_8$   
 .21999950054668E+04  $x_9$   
 .12400151367168E+04  $x_{10}$   
 .71999882812500E+04 :  
 .91600000000000E+04 :  
 .06000473022461E+02  
 .23819941711426E+03  
 .00000000000000E+00  
 .14100001525879E+03  
 .10000009536743E+02  
 .12000013351440E+02  
 .60001096725464E+01  
 .11467016220093E+02  
 .45000061035156E+02  
 .18000015258789E+02  
 .52000015258789E+02  
 .31999862670898E+02  
 .22000007324219E+04  
 .16400350446313E+04  
 .72000000000000E+04  
 .91599843750000E+04  
 .86999328613281E+02  
 .19519740295410E+03  
 .00000000000000E+00  
 .24001373291016E+02  
 .99999771118164E+01  
 .15166617393494E+02  
 .60001096725464E+01  
 .11833395004272E+02  
 .44999984741211E+02  
 .18000106811523E+02  
 .51999893188477E+02  
 .31999710083008E+02  
 .24375002441406E+04  
 .16675156250000E+04  
 .72000156250000E+04  
 .91599804687500E+04  
 .61000289916992E+02  
 .19299932861328E+03  
 .00000000000000E+00  
 .00000000000000E+00  
 .99996299743652E+01  
 .15166616347168E+02  
 .60001401901245E+01  
 .14833709716797E+02  
 .44999984741211E+02  
 .18000244140625E+02  
 .51999862670898E+02  
 .31999771118164E+02  
 .24374775390625E+04 :  
 .18925429687500E+04 :  
 .72000117187500E+04  
 .91599531250000E+04  $x_{60}$   
 .48000732421875E+02  $x_{61}$   
 .14099729919434E+03  $x_{62}$   
 .00000000000000E+00  $x_{63}$   
 .00000000000000E+00  $x_{64}$

END OF SYSPR STREAM

	ANNEE 1	ANNEE 2	ANNEE 3	ANNEE 4
D R O I T	x(1)= 10 x(2)= 12 x(13)= 96	x(17)= 10 x(18)= 12 x(29)= 86	x(33)= 10 x(34)= <u>15</u> x(45)= 61	x(49)= 10 x(50)= 15 x(61)= 48
E C O	x(3)= 6 x(4)= 6 x(14)= 238	x(19)= 6 x(20)= <u>11</u> x(30)= 195	x(35)= 6 x(36)= <u>12</u> x(46)= 193	x(51)= 6 x(52)= <u>15</u> x(62)= 140
S C I E N	x(5)= 45 x(6)= 18 x(15)= 0	x(21)= 45 x(22)= 18 x(31)= 0	x(37)= 45 x(38)= 18 x(47)= 0	x(53)= 45 x(54)= 18 x(63)= 0
L E T T R	x(7)= 52 x(8)= 32 x(16)= 141	x(23)= 52 x(24)= 32 x(32)= 24	x(39)= 52 x(40)= 32 x(48)= 0	x(55)= 52 x(56)= 32 x(64)= 0

## BUDGET:

D	x(9)=2200	x(25)=2200	x(41)=2437	x(57)=2437
E	x(10)=1240	x(26)=1640	x(42)=1667	x(58)=1892
S	x(11)=7199	x(27)=7200	x(43)=7200	x(59)=7200
L	x(12)=9160	x(28)=9159	x(44)=9159	x(60)=9159

## C O N C L U S I O N



De nombreux présidents d'Université se trouvent placés devant la décision de mettre en oeuvre des systèmes de planification, de programmation et de budgétisation.

Cette décision implique l'investissement d'une grande quantité des ressources, dont le rendement est incertain.

Pour justifier l'investissement qu'elles entraînent, ainsi que la technologie qui leur est apparentée, il faut que les méthodes quantitatives améliorent le processus de prise de décision.

Quand nous essayons d'établir le résultat des études effectuées, et des méthodes qui en découlent, le fond du problème doit être d'analyser si ces méthodes peuvent vraiment être appliquées dans diverses conditions.

Les Etats Unis ont montré la voie dans l'utilisation, pour l'Université, de modèles quantitatifs. C'est ce qui a été fait, notamment, par la conception des modèles RRPM et CAMPUS.

En Europe, existent actuellement plusieurs modèles, qui sont adaptés aux systèmes européens d'enseignement. (voir: Modèles d'affectation des ressources, 1977, OCDE)

Ces modèles sont:

==HIS    Modèle élaboré au début des années 70 en RFA.



== MSAR (Modèle de Simulation et d'Affectation des Ressources). Il a été créé en 1973 et 1974 pour les Universités portugaises.

== TUSS (Total University Simulation System). Modèle de prévision des ressources conçu en 1970 aux Pays Bas (Université d'Utrecht).

== GERN (Générateur de Ressources Normatives). Modèle mis au point à l'Université Catholique de Louvain).

Une question que l'on peut se poser est la suivante:

Dans quelle mesure ces modèles sont-ils utilisés?

D'après les informations que nous avons, on peut fournir une réponse. Très rares sont les exemples d'applications complètes et régulières de tels modèles dans les Universités.

Les principales raisons sont:

- le manque de systèmes d'information;
- la rareté du personnel qualifié;
- la méfiance vis-à-vis de méthodes quantitatives trop complexes qui risquaient d'échapper aux décideurs;
- la complexité des modèles faits, qu'il ne s'agit plus des simples techniques, mais plutôt d'une organisation du personnel et de l'équipement.

On comprend mieux, après ces remarques, que pour la majorité des Universités l'utilisation courante de telles méthodes apparaît hors portée, alors même qu'elles apparaissent comme susceptibles d'être d'un secours, tant pour la gestion interne et pour les relations externes.

Nous pensons, qu'au stade actuel, des études limitées de certains aspects du système ont plus de chance d'être utilisées.

Les modèles que nous avons présentés, essaient de tenir compte des difficultés présentées ci-dessus, et la spécificité du contexte actuel de l'Université.

Les techniques développées peuvent être appliquées avec un travail minimum de préparation à une Université française.

Toutes les données utilisées sont enregistrées dans chaque Université d'une manière routinière. La seule difficulté posée vient du fait que peu de personnes ont jugé intéressant de regrouper des données, alors que leur utilité n'est pas apparante.

Il faut que chaque sous-système réalise les avantages de regrouper et de soumettre des données, si nous voulons que les modèles soient des instruments utiles pour la gestion.

La forme de présentation (conversationnelle) n'exige pas une qualification particulière. Ainsi la mise en oeuvre se trouve simplifiée et à la portée de chaque Université, sans exigence particulière du point de vue organisationnel

En ce qui concerne maintenant le réalisme des modèles proposés, nous pensons que les résultats obtenus sur l'Université de Saint-Etienne sont concluants, si on tient compte du fait que certains de données utilisées sont approximatives. (problème qui ne se posera plus, dans la mesure où, dès cette année, la scolarité des étudiants est informatisée)

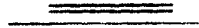
\* A titre d'exemple les inscriptions pour cette année academique quelques jours avant la date limite sont reparties de la manière suivante:

DROIT	ECO	SCIENCES	LETTRES
435	135	388	540
212	71	187	264
145	77	48	181
70	48	22	171

En faisant la comparaison avec les prévisions

effectuées (voir page 262 ANNEE 1), on remarque que sauf pour l'UER de Droit, les résultats sont très acceptables. \*

Remarquons, toutefois, qu'un modèle de simulation en soi ne donne pas "la meilleure solution" aux problèmes de gestion, mais il fournit une information supplémentaire susceptible d'aider les décideurs à opérer un choix entre les variantes.



Les programmes informatiques présentés ont été réalisés sur le matériel de l'Ecole des Mines de Saint-Etienne:

- le système APL du Solar/16
- un PDP11/40
- un Philips P1175

Je saisi l'occasion de remercier chaleureusement Messieurs B. JULIEN et P. PAYS du Centre de Calcul pour leur collaboration.





## BIBLIOGRAPHIE

- ALBOUY : La régulation économique dans l'entreprise  
Tome 1, Tome 2 (Dunod)
- AOKI : Optimization of stochastic Systems (Academic Press)
- BANATHY : A systems view of organizing Education (Progress in Cybernetics  
and Systems Research, VolII, 1975)
- BATCSON : Vers une écologie de l'esprit (Seuil)
- BEER : Platform for a change (Wiley)  
Brain of the firm (Penguin Press)  
Decision and control (Wiley)
- BOX-JENKINS : Some statistical aspects of Adaptive optimization and Control  
(Journal of the Royal Statistical Society, Séries B, Vol24,  
pp 297-343)
- BROWN : Smoothing, Forecasting and Prediction (Prentice Hall)
- BRYSON-HO : Applied optimal Control (Ginn)
- DAGNELIE : Analyse statistique à plusieurs variables (Presses Agronomiques  
de Gembloux)
- DEUTSCH : Estimation Theory (Prentice Hall)
- FAURE-DEPEYROT : Elements of System Theory (North-Holland)
- GELB (ed) : Applied optimal Estimation (M.I.T. Press)
- HUSSAIN : Systemes d'information pour la gestion adaptés aux établissements  
d'enseignement supérieur (OCDE)
- HONENACK : University planning, decentralization and resource allocation  
(Socio. Eron.Plan. Sci. vol8, pp 257-272, 1974)
- HARRISON-STEVENS : A Bayesian Approach to short term forecasting  
(oper. Res. Quart. vol22, No4)

- HARRISON : Exponential Smoothing and short term Sales Forecasting  
Mgnit. Sci. 30, No11 (1967)
- HOWARD : Dynamic Probabilistic Systems (Wiley)
- IDA HOOS : Systems Analysis in Public Policy (University of California Press)
- IRIA : Ecole de la Recherche : Systèmes d'information des organisations  
(1978)
- JANTSCH : Prospective et Politique (OCDE)
- KEMENY-SWELL : Finite Markov Chains (Van Nostrand)
- KLIR-VALACH : Cybernetic Modelling (Iliffe Books)
- KORNAI : Mathematical Planning of Structural Decisions (North Holland)  
Antiequilibrium (North Holland)
- LACAZE : Theorie des prix et décentralisation des décisions par dualité  
(CNRS)
- LASDON : Optimization Theory of Large Systems (Mac Millan)
- LUENBERGER : Optimization by vector space methods (Wiley)
- MAITI et SENGUPTA : A note on the possibility of decentralization in a model  
of allocation of resources (Mgnit. Sci. Aout 1973)
- MAKRIDAKIS-WHALWRIGHT : Forecasting (Wiley)
- MARSHAK-RADNER : Economic Theory of Teams (Yale)
- MASON : A general System Theory of production (Int. J. General Systems 1979  
vol5, pp 17-30)
- MEDITCH : Stochastic Optimal linear Estimation and Control (Mc Graw-Hill)
- MORRISON : Multivariate Statistical Methods (Mc Graw-Hill)
- OCDE : . modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement  
. les techniques de planification et de gestion des Universités  
. planification à long terme des politiques d'enseignement  
. planification du développement des Universités

- . development of a model for some aspects of University policy
- . decision - Planification - Etablissement du budget

PALMER-KEENA : Information Systems and Decision Processes in Higher Education  
(IEEE, Systems Man. Cyb. vol8, No7, July 1977)

SCHROEDER : A surgery of management science in University operation  
(Mgnit. Sci. vol19, No8, April 1973)

SCHRODE-VOICE : Organization and Management (Irwin)

SIMONNARD : Programmation linéaire  
VolI, VolIII (Dunod)

SINHA-DICENZO : A state space model for the student population in an educational system (IEEE, Systems, Man., Cyber., vol5, No4, July 1975)

SINHA-SINGH : A stochastic model of an educational institute  
Int. J. Systems Sci., 1973, vol4, No4, 501-509

SUTHERLAND : Systems : Analysis Administration and Architecture (Van Norstrand)

TRACZ : Cybernetic Theory in the management of large educational systems  
(Modern Trends in Cybernetics and Systems)

TRACZ-DUNLON : A cybernetic view of the Primary and Secondary Education  
System of ONtario (Educational Technology vol.WVII, No10, 1977)

VAN COURTHARE : L'analyse des systèmes (Dunod)

VANDE PANNE : Methods for linear and quadratri-Programming (North Holland)

WYMOVE : Systems Engineering Methodology ofr Interdisciplinary teams (Wiley)





**Ouf!**





